KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
REPUBLIK INDONESIA
2013

Sistem Dan Instalasi Tata Udara

Kelas XI

Semester 3

KATA PENGANTAR

Kurikulum 2013 adalah kurikulum berbasis kompetensi. Di dalamnya dirumuskan secara terpadu kompetensi sikap, pengetahuan dan keterampilan yang harus dikuasai peserta didik serta rumusan proses pembelajaran dan penilaian yang diperlukan oleh peserta didik untuk mencapai kompetensi yang diinginkan.

Faktor pendukung terhadap keberhasilan Implementasi Kurikulum 2013 adalah ketersediaan Buku Siswa dan Buku Guru, sebagai bahan ajar dan sumber belajar yang ditulis dengan mengacu pada Kurikulum 2013. Buku Siswa ini dirancang dengan menggunakan proses pembelajaran yang sesuai untuk mencapai kompetensi yang telah dirumuskan dan diukur dengan proses penilaian yang sesuai.

Sejalan dengan itu, kompetensi keterampilan yang diharapkan dari seorang lulusan SMK adalah kemampuan pikir dan tindak yang efektif dan kreatif dalam ranah abstrak dan konkret. Kompetensi itu dirancang untuk dicapai melalui proses pembelajaran berbasis penemuan (*discovery learning*) melalui kegiatan-kegiatan berbentuk tugas (*project based learning*), dan penyelesaian masalah (*problem solving based learning*) yang mencakup proses mengamati, menanya, mengumpulkan informasi, mengasosiasi, dan mengomunikasikan. Khusus untuk SMK ditambah dengan kemampuan mencipta .

Sebagaimana lazimnya buku teks pembelajaran yang mengacu pada kurikulum berbasis kompetensi, buku ini memuat rencana pembelajaran berbasis aktivitas. Buku ini memuat urutan pembelajaran yang dinyatakan dalam kegiatan-kegiatan yang harus dilakukan peserta didik. Buku ini mengarahkan hal-hal yang harus dilakukan peserta didik bersama guru dan teman sekelasnya untuk mencapai kompetensi tertentu; bukan buku yang materinya hanya dibaca, diisi, atau dihafal.

Buku ini merupakan penjabaran hal-hal yang harus dilakukan peserta didik untuk mencapai kompetensi yang diharapkan. Sesuai dengan pendekatan kurikulum 2013, peserta didik diajak berani untuk mencari sumber belajar lain yang tersedia dan terbentang luas di sekitarnya. Buku ini merupakan edisi ke-1. Oleh sebab itu buku ini perlu terus menerus dilakukan perbaikan dan penyempurnaan.

Kritik, saran, dan masukan untuk perbaikan dan penyempurnaan pada edisi berikutnya sangat kami harapkan; sekaligus, akan terus memperkaya kualitas penyajian buku ajar ini. Atas kontribusi itu, kami ucapkan terima kasih. Tak lupa kami mengucapkan terima kasih kepada kontributor naskah, editor isi, dan editor bahasa atas kerjasamanya. Mudah-mudahan, kita dapat memberikan yang terbaik bagi kemajuan dunia pendidikan menengah kejuruan dalam rangka mempersiapkan generasi seratus tahun Indonesia Merdeka (2045).

Jakarta, Januari 2014
Direktur Pembinaan SMK

Drs. M. Mustaghfirin Amin, MBA

DAFTAR ISI

PENULIS ii
KATA PENGANTAR iii
DAFTAR ISI iv
I. PENDAHULUAN 1
A. Deskripsi 1
B. Kompetensi Inti dan Kompetensi Dasar 2
C. Silabus 3
D. Rencana Aktivitas Belajar 15
II. PEMBELAJARAN 17
A. Kegiatan Belajar 1 17
Menguraikan Prinsip Tata Udara 17
1. Karakteristik Udara 19
2. Hukum Dalton tentang Tekanan Parsial Gas 20
3. Campuran Uap air dan Udara Kering 23
4. Hukum Boyle 24
5. Hukum Charles 25
6. Suhu Saturasi 28
7. Uap Panas Lanjut 30
8. Cairan Super Dingin 30
9. Efek Tekanan pada Suhu Saturasi 31
10. Evaporasi 33
11. Kondensasi 34
12. Suhu Titik Embun (*dew point*) 35
13. Kandungan Uap air Maksimum 39
14. Kelembanan Absolut 39
15. Kelembaban Relatif 40
16. Kelembaban Spesifik 41
17. Suhu Bola Kering dan Suhu Bola Basah 42
18. Chart Psikrometrik 43
19. Proses Tata Udara Ruang 48
20. Operasi Kenyamanan Kerja 60
B. Kegiatan Belajar 2 63

Menguraikan Fungsi dan Komponen Unit Tata Udara Domestik 63
1. Komponen Unit Tata Udara Domestik 64
2. Terminologi dan Spesifikasi 68
C. Kegiatan Belajar 3 75
Menguraikan Refrijeran dan Oli Lubrikan untuk Sistem Tata Udara 75
1. Pengurangan Konsumsi CFC 76
2. *Refrigerant* Ramah lingkungan 78
3. Pelumas Refrijeran 81
D. Kegiatan Belajar 4 83
Mengunakan Alat Ukur Besaran Fisis Udara 83
1. Pengukuran Suhu dengan Termometer 84
2. Pengukuran Suhu *Refrigerant* dengan *Gauge Manifold* 88
E. Kegiatan Belajar 5 94
Menafsirkan dan Menyajikan Gambar Pemipaan 94
1. Menentukan Luas Area Evaporator 95
2. Gambar Instalasi Pemipaan 99
F. Kegiatan Belajar 6 105
Menentukan Prosedur Pemasangan Unit Tata Udara Domestik 105
1. Persiapan Pemasangan Unit *AC Split* 108
2. Pemasangan Unit *Indoor* 109
3. Pemasangan Unit *Outdoor* 111
4. Pemasangan Instalasi Pemipaan 112
5. Pemasangan Sistem Kelistrikan 117
6. Pemeriksaan Kebocoran 117
DAFTAR PUSTAKA 136

I. PENDAHULUAN

A. Deskripsi

Kurikulum 2013 dirancang untuk memperkuat kompetensi siswa dari sisi pengetahuan, keterampilan dan sikap secara utuh. Proses pencapaiannya melalui pembelajaran sejumlah mata pelajaran yang dirangkai sebagai suatu kesatuan yang saling mendukung pencapaian kompetensi tersebut. Buku bahan ajar dengan judul Sistem dan Instalasi Refrigerasi ini merupakan paket keahlian yang digunakan untuk mendukung pembelajaran pada mata pelajaran Sistem dan Instalasi refrigerasi, untuk SMK Paket Keahlian Teknik Pendingin dan Tata Udara yang diberikan pada kelas XI.

Buku ini menjabarkan usaha minimal yang harus dilakukan siswa untuk mencapai kompetensi yang diharapkan, yang dijabarkan dalam kompetensi inti dan kompetensi dasar. Sesuai dengan pendekatan yang dipergunakan dalam Kurikulum 2013, siswa diberanikan untuk mencari dari sumber belajar lain yang tersedia dan terbentang luas di sekitarnya. Peran guru sangat penting untuk meningkatkan dan menyesuaikan daya serap siswa dengan ketersediaan kegiatan pada buku ini. Guru dapat memperkayanya dengan kreasi dalam bentuk kegiatan-kegiatan lain yang sesuai dan relevan yang bersumber dari lingkungan sosial dan alam.

Buku siswa ini disusun di bawah koordinasi Direktorat Pembinaan SMK, Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan, dan dipergunakan dalam tahap awal penerapan Kurikulum 2013. Buku ini merupakan “dokumen hidup” yang senantiasa diperbaiki, diperbaharui, dan dimutakhirkan sesuai dengan dinamika kebutuhan dan perubahan zaman. Masukan dari berbagai kalangan diharapkan dapat meningkatkan kualitas buku ini.

B. Kompetensi Inti dan Kompetensi Dasar

KOMPETENSI INTI	KOMPETENSI DASAR
1. Menghayati dan mengamalkan ajaran agama yang dianutnya.	1.1. Menyadari sempurnanya konsep Tuhan tentang benda-benda dengan fenomenanya untuk dipergunakan dalam dalam melaksanakan pekerjaan di bidang sistem dan instalasi tata udara 1.2. Mengamalkan nilai-nilai ajaran agama sebagai tuntunan dalam melaksanakan melaksanakan pekerjaan di bidang sistem dan instalasi tata udara
2. Menghayati dan mengamalkan perilaku jujur, disiplin, tanggungjawab, peduli (gotong royong, kerjasama, toleran, damai), santun, responsif dan proaktif, dan menunjukkan sikap sebagai bagian dari solusi atas berbagai permasalahan dalam berinteraksi secara efektif dengan lingkungan sosial dan alam serta dalam menempatkan diri sebagai cerminan bangsa dalam pergaulan dunia	2.1. Mengamalkan perilaku jujur, disiplin, teliti, kritis, rasa ingin tahu, inovatif dan tanggung jawab dalam dalam pekerjaan di bidang sistem dan instalasi tata udara 2.2. Menghargai kerjasama, toleransi, damai, santun, demokratis, dalam menyelesaikan masalah perbedaan konsep berpikirdalam melakukan tugas memasang dan memelihara peralatan tata udara. 2.3. Menunjukkan sikap responsif, proaktif, konsisten, dan berinteraksi secara efektif dengan lingkungan sosial sebagai bagian dari solusi atas berbagai permasalahan dalam dalam melakukan pekerjaan di bidang sistem dan instalasi tata udara.
3. Memahami, menerapkan dan menganalisis pengetahuan faktual, konseptual, dan prosedural berdasarkan rasa ingin tahunya tentang ilmu pengetahuan, teknologi, seni, budaya, dan humaniora dalam wawasan kemanusiaan, kebangsaan, kenegaraan, dan peradaban terkait penyebab fenomena dan kejadian dalam bidang kerja yang spesifik untuk memecahkan masalah.	3.1. Menjelaskan prinsip sistem tata udara 3.2. Menjelaskan fungsi komponen utama sistem tata udara domestik 3.3. Menjelaskan refrjeran dan oli refrijeran yang digunakan pada sistem tata udara 3.4. Menjelaskan alat ukur besaran fisis udara 3.5. Menafsirkan gambar pemipaan sistem tata udara domestik 3.6. Menjelaskan prosedur pemasangan unit tata udara domestik 3.7. Mendiskripsikan kegiatan *start-up test* dan komisioning unit tata udara domestik
4. Mengolah, menalar, dan menyaji dalam ranah konkret dan ranah abstrak terkait dengan pengembangan dari yang dipelajarinya di sekolah secara mandiri, dan mampu melaksanakan tugas spesifik di bawah pengawasan langsung	4.1. Mengoperasikan sistem tata udara 4.2. Memilih komponen utama sistem tata udara domestik 4.3. Memilih refrijeran dan oli refrijeran yang digunakan pada sistem tata udara 4.4. Menggunakan alat ukur besaran fisis udara 4.5. Menyajikan gambar instalasi pemipaan sistem tata udara domestik 4.6. memasang sistem tata udara domestik 4.7. memeriksa fungsi dan performansi unit tata udara domestik

C. Silabus

Satuan Pendidikan : SMK
Program Keahlian : Teknik Ketenagalistrikan
Paket Keahlian : Teknik Pendingin & Tata Udara
Mata Pelajaran : Sistem dan Instalasi Tata Udara
Kelas /Semester : XI

Kompetensi Inti

KI 1 : Menghayati dan mengamalkan ajaran agama yang dianutnya

KI 2 : Menghayati dan mengamalkan perilaku jujur, disiplin, tanggungjawab, peduli (gotong royong, kerjasama, toleran, damai), santun, responsif dan pro-aktif dan menunjukkan sikap sebagai bagian dari solusi atas berbagai permasalahan dalam berinteraksi secara efektif dengan lingkungan sosial dan alam serta dalam menempatkan diri sebagai cerminan bangsa dalam pergaulan dunia.

KI 3 : Memahami, menerapkan dan menganalisis pengetahuan faktual, konseptual, dan prosedural dan metakognitif berdasarkan rasa ingin tahunya tentang ilmu pengetahuan, teknologi, seni, budaya, dan humaniora dalam wawasan kemanusiaan, kebangsaan, kenegaraan, dan peradaban terkait penyebab fenomena dan kejadian dalam bidang kerja yang spesifik untuk memecahkan masalah.

KI 4 : Mengolah, menalar, dan menyaji dalam ranah konkret dan ranah abstrak terkait dengan pengembangan dari yang dipelajarinya di sekolah secara mandiri, bertindak secara efektif dan kreatif dan mampu melaksanakan tugas spesifik di bawah pengawasan langsung

Kompetensi Dasar	Materi Pokok	Kegiatan Pembelajaran	Penilaian	Alokasi Waktu	Sumber Belajar
1.1 Menyadari sempurnanya konsep Tuhan tentang benda-benda dengan fenomenanya untuk dipergunakan dalam dalam melaksanakan pekerjaan di bidang sistem dan instalasi tata udara 1.2 Mengamalkan nilai-nilai ajaran					

Kompetensi Dasar	Materi Pokok	Kegiatan Pembelajaran	Penilaian	Alokasi Waktu	Sumber Belajar
agama sebagai tuntunan dalam melaksanakan melaksanakan pekerjaan di bidang sistem dan instalasi tata udara					
2.4. Mengamalkan perilaku jujur, disiplin, teliti, kritis, rasa ingin tahu, inovatif dan tanggung jawab dalam dalam pekerjaan di bidang sistem dan instalasi tata udara 2.5. Menghargai kerjasama, toleransi, damai, santun, demokratis, dalam menyelesaikan masalah perbedaan konsep berpikir dalam melakukan tugas memasang dan memelihara peralatan tata udara. 2.6. Menunjukkan sikap responsif, proaktif, konsisten,					

Kompetensi Dasar	Materi Pokok	Kegiatan Pembelajaran	Penilaian	Alokasi Waktu	Sumber Belajar
dan berinteraksi secara efektif dengan lingkungan sosial sebagai bagian dari solusi atas berbagai permasalahan dalam dalam melakukan pekerjaan di bidang sistem dan instalasi tata udara.					
3.1. Menentukan prinsip operasi sistem tata udara 4.1. Mengoperasikan sistem tata udara	• Karakteristik udara - Komposisi udara kering - Moisture content - Suhu Bola kering - Suhu Bola Basah - Suhu titik embun - Kelembaban udara absolut - Kelembaban udara relatif - Kelembaban spesifik • Hukum Boyle • Hukum Daltom	**Mengamati :** Mengamati karakteristik udara, suhu udara, suhu titik embun, kelembaban udara absolut, kelembaban udara relatif, kelembaban spesifik, proses tranfer panas, suhu saturasi, suhu superheat, suhu subcooled, psikrometrik chart, proses tata udara, dan pemetaan proses tata udara. **Menanya :** Mengkondisikan situasi belajar untuk membiasakan berfikir kritis dan kreatif dengan mengajukan pertanyaan secara aktif dan mandiri tentang karakteristik udara, suhu udara, suhu titik embun, kelembaban udara absolut, kelembaban udara relatif, kelembaban spesifik, proses tranfer panas, suhu saturasi, suhu superheat, suhu subcooled, psikrometrik chart, proses tata udara, dan pemetaan proses tata udara. **Pengumpulan Data :** Mengumpulkan data yang dipertanyakan dan menentukan sumber (melalui benda konkrit, dokumen, buku, eksperimen) untuk menjawab pertanyaan yang	**Kinerja:** • Pengematan sikap kerja • Pengamatan kegiatan praktek pengoperasian sistem tata udara **Tes:** Tes lisan/ tertulis terkait dengan pengoperasian sistem tata udara **Portofolio:** Setelah menyelesaikan tugas pekerjaan pekerjaan harus menyerahkan laporan pekerjaan secara tertulis **Tugas:** Pengoperasian unit tata udara domestik	4 x 6 jp	

Kompetensi Dasar	Materi Pokok	Kegiatan Pembelajaran	Penilaian	Alokasi Waktu	Sumber Belajar
	• Proses transfer panas • Suhu saturasi • Efek tekanan pada suhu saturasi • Evaporasi • Kondensasi • Suhu panas lanjut (superheat) • Suhu superdingin (subcooled) • Psikrometrik chart • Proses Tata Udara -cooling, - heating, - humidifying, - dehumidifying, - ventilating • Pemetaan proses Tata Udara - pendinginan/pemanasan udara tanpa pengurangan uap air - pendinginan/pemasanan dengan pengurangan uap air - percampuran udara • Beban pendinginan ruang • Zona kenyamanan tubuh	diajukan tentang karakteristik udara, suhu udara, suhu titik embun, kelembaban udara absolut, kelembaban udara relatif, kelembaban spesifik, proses tranfer panas, suhu saturasi, suhu superheat, suhu subcooled, psikrometrik chart, proses tata udara, dan pemetaan proses tata udara. **Mengasosiasi :** Mengkategorikan data dan menentukan hubungannya, selanjutnyanya disimpulkan dengan urutan dari yang sederhana sampai pada yang lebih kompleks terkait karakteristik udara, suhu udara, suhu titik embun, kelembaban udara absolut, kelembaban udara relatif, kelembaban spesifik, proses tranfer panas, suhu saturasi, suhu superheat, suhu subcooled, psikrometrik chart, proses tata udara, dan pemetaan proses tata udara. **Mengkomunikasikan :** Menyampaikan hasil konseptualisasi tentang psikkrometrik, proses tata udara, dan pemetaan proses tata udara baik secara lisan dan tulisan			

Kompetensi Dasar	Materi Pokok	Kegiatan Pembelajaran	Penilaian	Alokasi Waktu	Sumber Belajar
3.2 Menentukan fungsi dan performansi komponen utama unit tata udara domestik 4.2. Memeriksa komponen utama unit tata udara domestik	• Sistem dan komponen AC packaged - kompresor - kondesor - katub ekspansi - evaporator • Sistem dan komponen AC Split - Condensing unit - Fan coil • Spesifikasi peralatan tata udara domestic • Operasi sistem tata udara	**Mengamati :** Komponen sistem tata udara domestik dari sisi konstruksi, fungsi, dan performansinya **Menanya :** Mengkondisikan situasi belajar untuk membiasakan berfikir kritis dan kreatif dengan mengajukan pertanyaan secara aktif dan mandiri tentang Komponen sistem tata udara domestik dari sisi konstruksi, fungsi, dan performansinya **Pengumpulan Data :** Mengumpulkan data yang dipertanyakan dan menentukan sumber (melalui benda konkrit, dokumen, buku, eksperimen) untuk menjawab pertanyaan yang diajukan tentang Komponen sistem tata udara domestik dari sisi konstruksi, fungsi, dan performansinya **Mengasosiasi :** Mengkategorikan data dan menentukan hubungannya, selanjutnyanya disimpulkan dengan urutan dari yang sederhana sampai pada yang lebih kompleks terkait Komponen sistem tata udara domestik dari sisi konstruksi, fungsi, dan performansinya **Mengkomunikasikan :** Menyampaikan hasil identifikasi Komponen sistem tata udara domestik dari sisi konstruksi, fungsi, dan performansinya baik secara lisan dan tulisan	**Kinerja:** • Pengematan sikap kerja • Pengamatan kegiatan praktek mengidentifikasikan dan memilah Komponen sistem tata udara domestik dari sisi konstruksi, fungsi, dan performansinya **Tes:** Tes lisan/ tertulis terkait dengan pemilihan komponen utama sistem tata udara domestik **Portofolio:** Setelah menyelesaikan tugas pekerjaan pekerjaan harus menyerahkan laporan pekerjaan secara tertulis **Tugas:** Memilih dan menggunakan komponen utama unit tata udara domestik	3 x 6 JP	J. Dossat, Modern Refrigeration, Prentice Hall, 1990 Goliber, Paul F., 1986 Refrigeration servicing, Bombay, D.B. Taraporevala Son & Co, Private Ltd. A Harris, 1986, Air Conditioning Practices, Mc. Graw Hill Trane reciprocating Refrigeration Manual
3.3. Menentukan karakteristik refrijeran dan oli refrijeran yang digunakan pada	• Refrijeran • Oli refrijeran	**Mengamati :** Mengamati karakteristik termodinamik refrijeran dan oli refrijeran yang digunakan pada unit tata udara domestik **Menanya :** Mengkondisikan situasi belajar untuk membiasakan	**Kinerja:** • Pengamatan sikap kerja • Pengamatan kegiatan praktek pengamatan karakteristik termodinamik refrijeran	3 x 6 JP	

Kompetensi Dasar	Materi Pokok	Kegiatan Pembelajaran	Penilaian	Alokasi Waktu	Sumber Belajar
sistem tata udara 4.3. Memeriksa karakteristik termodinamik refrijeran dan oli refrijeran pada sistem tata udara		mengajukan pertanyaan secara aktif dan mandiri tentang pengamatan karakteristik termodinamik refrijeran dan oli refrijeran yang digunakan pada unit tata udara domestic **Pengumpulan Data :** Mengumpulkan data yang dipertanyakan dan menentukan sumber (melalui benda konkrit, dokumen, buku, eksperimen) untuk menjawab pertanyaan yang diajukan tentang pengamatan karakteristik termodinamik refrijeran dan oli refrijeran yang digunakan pada unit tata udara domestik **Mengasosiasi :** Mengkatagorikan data dan menentukan hubungannya, selanjutnyanya disimpulkan dengan urutan dari yang sederhana sampai pada yang lebih kompleks terkait pengamatan karakteristik termodinamik refrijeran dan oli refrijeran yang digunakan pada unit tata udara domestik **Mengkomunikasikan :** Menyampaikan hasil konseptualisasi tentang pengamatan karakteristik termodinamik refrijeran dan oli refrijeran yang digunakan pada unit tata udara domestiksecara lesan dan tulisan.	dan oli refrijeran yang digunakan pada unit tata udara domestik **Tes:** Tes tertulis terkait dengan pengamatan karakteristik termodinamik refrijeran dan oli refrijeran yang digunakan pada unit tata udara domestik **Portofolio:** Setelah menyelesaikan tugas pekerjaan pekerjaan harus menyerahkan laporan pekerjaan secara tertulis. **Tugas:** Pemeriksaan karakteristik refrigeran		
3.4. Memilih alat ukur besaran fisis udara 4.4. Menggunakan peralatan ukur besaran fisis udara	• Slink Psikrometrik • Thermometer • Humidifimeter	**Mengamati :** Mengamati proses pengukuran besaran fisis udara pada ruang yang dikondisikan **Menanya :** Mengkondisikan situasi belajar untuk membiasakan mengajukan pertanyaan secara aktif dan mandiri tentang proses pengukuran besaran fisis udara pada	**Kinerja:** • Pengamatan sikap kerja • Pengamatan kegiatan praktek pengukuran besaran fisis udara pada ruang yang dikondisikan	2 x 6 jp	

Kompetensi Dasar	Materi Pokok	Kegiatan Pembelajaran	Penilaian	Alokasi Waktu	Sumber Belajar
		ruang yang dikondisikan **Pengumpulan Data :** Mengumpulkan data yang dipertanyakan dan menentukan sumber (melalui benda konkrit, dokumen, buku, eksperimen) untuk menjawab pertanyaan yang diajukan tentang proses pengukuran besaran fisis udara pada ruang yang dikondisikan **Mengasosiasi :** Mengkatagorikan data dan menentukan hubungannya, selanjutnyanya disimpulkan dengan urutan dari yang sederhana sampai pada yang lebih kompleks terkait proses pengukuran besaran fisis udara pada ruang yang dikondisikan **Mengkomunikasikan :** Menyampaikan hasil konseptualisasi tentang proses pengukuran besaran fisis udara pada ruang yang dikondisikan secara lesan dan tulisan.	**Tes:** Tes tertulis terkait dengan proses pengukuran besaran fisis udara pada ruang yang dikondisikan **Portofolio:** Setelah menyelesaikan tugas pekerjaan pekerjaan harus menyerahkan laporan pekerjaan secara tertulis. **Tugas:** Menggunkan alat ukut		
3.5. Menafsirkan gambar pemipaan sistem tata udara domestik 4.5. Menyajikan gambar instalasi pemipaan sistem tata udara domestik	Gambar instalasi pemipaan sistem tata udara domestik secara manual dan dengan menggunakan komputer	**Mengamati :** Mengamati instalasi sistem tata udara dikaitkan dengan gambar instalasi pemipaan sistem tata udara **Menanya :** Mengkondisikan situasi belajar untuk membiasakan mengajukan pertanyaan secara aktif dan mandiri tentang gambar instalasi pemipaan sistem tata udara **Pengumpulan Data :** Mengumpulkan data yang dipertanyakan dan menentukan sumber (melalui benda konkrit, dokumen, buku, eksperimen) untuk menjawab pertanyaan yang diajukan tentang gambar instalasi pemipaan sistem tata udara	**Kinerja:** • Pengamatan sikap kerja • Pengamatan kegiatan praktek menggambar instalasi pemipaan sistem tata udara domestik secara manual dan menggunakan komputer **Tes:** Tes tertulis terkait dengan gambar instalasi pemipaan sistem tata udara	3 x 6 jp	

Kompetensi Dasar	Materi Pokok	Kegiatan Pembelajaran	Penilaian	Alokasi Waktu	Sumber Belajar
		Mengasosiasi : Mengkatagorikan data dan menentukan hubungannya, selanjutnyanya disimpulkan dengan urutan dari yang sederhana sampai pada yang lebih kompleks terkait gambar instalasi pemipaan sistem tata udara **Mengkomunikasikan :** Menyampaikan hasil konseptualisasi tentang gambar instalasi pemipaan sistem tata udara secara lesan dan tulisan.	**Portofolio:** Setelah menyelesaikan tugas pekerjaan pekerjaan harus menyerahkan laporan pekerjaan secara tertulis. **Tugas:** Gambar kerja instalasi pemipaan unit tat udara domestik		
3.6. Menerapkan prosedur pemasangan unit tata udara domestik 4.6. Memasang unit tata udara domestik	Pemasangan unit tata udara domestik	**Mengamati :** Mengamati pelaksanaan pekerjaan pemasangan unit tata udara domestik **Menanya :** Mengkondisikan situasi belajar untuk membiasakan mengajukan pertanyaan secara aktif dan mandiri tentang pelaksanaan pekerjaan pemasangan unit tata udara domestik **Mengeksplorasi:** Mengumpulkan data yang dipertanyakan dan menentukan sumber (melalui benda konkrit, dokumen, buku, eksperimen) untuk menjawab pertanyaan yang diajukan tentang pelaksanaan pekerjaan pemasangan unit tata udara domestic **Mengasosiasi :** Mengkatagorikan data dan menentukan hubungannya, selanjutnyanya disimpulkan dengan urutan dari yang sederhana sampai pada yang lebih kompleks terkait pelaksanaan pekerjaan pemasangan unit tata udara domestik **Mengkomunikasikan :** Menyampaikan hasil	**Kinerja:** • Pengamatan sikap kerja • Pengamatan kegiatan praktek pemasangan unit tata udara domestik **Tes:** Tes tertulis terkait dengan pelaksanaan pekerjaan pemasangan unit tata udara domestik **Portofolio:** Setelah menyelesaikan tugas pekerjaan pekerjaan harus menyerahkan laporan pekerjaan secara tertulis. **Tugas:** Pemasangan unit tata udara domestik	3 x 6 jp	

Kompetensi Dasar	Materi Pokok	Kegiatan Pembelajaran	Penilaian	Alokasi Waktu	Sumber Belajar
		konseptualisasi tentang pelaksanaan pekerjaan pemasangan unit tata udara domestik secara lesan dan tulisan.			
3.7. Menentukan fungsi dan performansi unit tata udara domestik 4.7. Memeriksa fungsi dan performansi pada unit tata udara domestik	• Start-up dan komisioning sistem tata udara domestik • Pemeriksaan kebocoran • Pemeriksaan tekanan kondensasi • Pemeriksaan COP	**Mengamati :** Mengamati pelaksanaan start-up dan komisioning unit tata udara domestik **Menanya :** Mengkondisikan situasi belajar untuk membiasakan mengajukan pertanyaan secara aktif dan mandiri tentang pelaksanaan start-up dan komisioning unit tata udara domestik **Mengeksplorasi :** Mengumpulkan data yang dipertanyakan dan menentukan sumber (melalui benda konkrit, dokumen, buku, eksperimen) untuk menjawab pertanyaan yang diajukan tentang pelaksanaan start-up dan komisioning unit tata udara domestik **Mengasosiasi :** Mengkatagorikan data dan menentukan hubungannya, selanjutnyanya disimpulkan dengan urutan dari yang sederhana sampai pada yang lebih kompleks terkait dengan pelaksanaan start-up dan komisioning unit tata udara domestik **Mengkomunikasikan :** Menyampaikan hasil konseptualisasi tentang pelaksanaan start-up dan komisioning unit tata udara domestik	**Kinerja:** • Pengamatan sikap kerja. • Pengamatan kegiatan praktek melakukan start-up test dan komisioning peralatan refrigerasi domestik, **Tes:** Tes tertulis terkait dengan pelaksanaan start-up dan komisioning unit tata udara domestik. **Portofolio:** Setelah menyelesaikan tugas pekerjaan pekerjaan harus menyerahkan laporan pekerjaan secara tertulis. **Tugas:** Pemeriksaan fungsi dan performansi unit tata udara domestik	4 x 6 jp	
3.8. Menganalisis gangguan pada unit tata udara domestik 4.8. Melacak	Gangguan mekanik • Kontaminasi uap air • Udara di dalam sistem • Lost charge • Kompresi	**Mengamati :** Mengamati pekerjaan pelacakan gangguan pada unit tata udara **Menanya :** Mengkondisikan situasi belajar untuk membiasakan	**Kinerja:** • Pengamatan sikap kerja. • Pengamatan kegiatan praktek	4 x 6 JP	J. Dossat, Modern Refrigeration, Prentice Hall, 1990

Kompetensi Dasar	Materi Pokok	Kegiatan Pembelajaran	Penilaian	Alokasi Waktu	Sumber Belajar
gangguan mekanik unit tata udara domestik	kurang optimal • Kompresor terbakar • Ice block • Block condenser Prosedur perbaikan • Kontaminasi uap air • Udara di dalam sistem • Lost charge • Kompresi kurang optimal • Kompresor terbakar • Ice block • Block condenser	mengajukan pertanyaan secara aktif dan mandiri tentang pekerjaan pelacakan gangguan pada unit tata udara **Mengeksplorasi :** Mengumpulkan data yang dipertanyakan dan menentukan sumber (melalui benda konkrit, dokumen, buku, eksperimen) untuk menjawab pertanyaan yang diajukan tentang pekerjaan pelacakan gangguan pada unit tata udara **Mengasosiasi :** Mengkatagorikan data dan menentukan hubungannya, selanjutnyanya disimpulkan dengan urutan dari yang sederhana sampai pada yang lebih kompleks terkait dengan pekerjaan pelacakan gangguan pada unit tata udara **Mengkomunikasikan :** Menyampaikan hasil konseptualisasi tentang pekerjaan pelacakan gangguan pada unit tata udara	pekerjaan pelacakan gangguan pada unit tata udara **Tes:** Tes tertulis terkait dengan pekerjaan pelacakan gangguan pada unit tata udara. **Portofolio:** Setelah menyelesaikan tugas pekerjaan pekerjaan harus menyerahkan laporan pekerjaan secara tertulis. **Tugas:** Pelacakan Gangguan		Goliber, Paul F., 1986 Refrigeration servicing, Bombay, D.B. Taraporevala Son & Co, Private Ltd. A Harris, 1986, Air Conditioning Practices, Mc. Graw Hill Trane reciprocating Refrigeration Manual Sapto Widodo, dkk., 2007, Refrigerasi dan Tata Udara, E-book, Dir. PSMK MH Sapto Widodo, Sistem Kelistrikan Refrigerasi dan Tata Udara untuk

Kompetensi Dasar	Materi Pokok	Kegiatan Pembelajaran	Penilaian	Alokasi Waktu	Sumber Belajar
					SMK, Yrama WIdya
3.9. Menerapkan prosedur pemeliharaan alat penukar kalor pada unit tata udara domestik 4.9. Melakukan peliharaan peralatan penukar kalor unit tata udara domestik	Pemeliharaan alat penukar kalor unit tata udara domestik	**Mengamati :** Mengamati pelaksanaan pekerjaan pemeliharaan alat penukar kalor unit tata udara domestik . **Menanya :** Mengkondisikan situasi belajar untuk membiasakan mengajukan pertanyaan secara aktif dan mandiri tentang pelaksanaan pekerjaan pemeliharaan alat penukar kalor unit tata udara domestik . **Mengeksplorasi :** Mengumpulkan data yang dipertanyakan dan menentukan sumber (melalui benda konkrit, dokumen, buku, eksperimen) untuk menjawab pertanyaan yang diajukan tentang pelaksanaan pekerjaan pemeliharaan alat penukar kalor unit tata udara domestik . **Mengasosiasi :** Mengkatagorikan data dan menentukan hubungannya, selanjutnyanya disimpulkan dengan urutan dari yang sederhana sampai pada yang lebih kompleks terkait pelaksanaan pekerjaan pemeliharaan alat penukar kalor unit tata udara domestik . **Mengkomunikasikan :** Menyampaikan hasil konseptualisasi tentang pelaksanaan pekerjaan pemeliharaan alat penukar kalor unit tata udara domestik . dalam bentuk lisan, dan tulisan,	**Kinerja:** • Pengamatan sikap kerja • Pengamatan kegiatan praktek pemeliharaan alat penukar kalor unit tata udara domestik . **Tes:** Tes tertulis terkait dengan pelaksanaan pekerjaan pemeliharaan alat penukar kalor unit tata udara domestik . **Laporan Kerja:** Setelah menyelesaikan tugas pekerjaan pekerjaan harus menyerahkan laporan pekerjaan secara tertulis. Tugas: Pemeliharaan kondenser	4 x 6 JP	. Dossat, Modern Refrigeration, Prentice Hall, 1990 Goliber, Paul F., 1986 Refrigeration servicing, Bombay, D.B. Taraporevala Son & Co, Private Ltd. A Harris, 1986, Air Conditioning Practices, Mc. Graw Hill Trane reciprocating Refrigeration Manual Sapto Widodo, dkk., 2007, Refrigerasi dan Tata Udara, E-book, Dir. PSMK MH

Kompetensi Dasar	Materi Pokok	Kegiatan Pembelajaran	Penilaian	Alokasi Waktu	Sumber Belajar
					Sapto Widodo, Sistem Kelistrikan Refrigerasi dan Tata Udara untuk SMK, Yrama WIdya
3.10. Menerapkan prosedur penggantian kompresor pada unit tata udara domestik 4.10. Mengganti kompresor unit tata udara domestik	Penggantian kompresor unit tata udara domestik	**Mengamati :** Mengamati pelaksanaan pekerjaan Penggantian kompresor unit tata udara domestik **Menanya :** Mengkondisikan situasi belajar untuk membiasakan mengajukan pertanyaan secara aktif dan mandiri tentang Penggantian kompresor unit tata udara domestik. **Mengeksplorasi :** Mengumpulkan data yang dipertanyakan dan menentukan sumber (melalui benda konkrit, dokumen, buku, eksperimen) untuk menjawab pertanyaan yang diajukan tentang Penggantian kompresor unit tata udara domestik. **Mengasosiasi :** Mengkatagorikan data dan menentukan hubungannya, selanjutnyanya disimpulkan dengan urutan dari yang sederhana sampai pada yang lebih kompleks terkait Penggantian kompresor unit tata udara domestik. **Mengkomunikasikan :** Menyampaikan hasil konseptualisasi tentang Penggantian kompresor unit tata udara domestik. dalam bentuk lisan, dan tulisan,	**Kinerja:** • Pengamatan sikap kerja • Pengamatan kegiatan praktek Penggantian kompresor unit tata udara domestik. **Tes:** Tes tertulis terkait dengan Penggantian kompresor unit tata udara domestik. **Laporan Kerja:** Setelah menyelesaikan tugas pekerjaan pekerjaan harus menyerahkan laporan pekerjaan secara tertulis. Tugas: Penggantian kompresor	4 x 6 jp	
3.11. Menentukan pekerjaan retrofitti	Prosedur retrofit - drop-in - light-retrofit - standard	**Mengamati :** Mengamati pelaksanaan pekerjaan retrofit unit tata udara domestik	**Kinerja:** • Pengamatan sikap kerja	2 x 6 jp	

Kompetensi Dasar	Materi Pokok	Kegiatan Pembelajaran	Penilaian	Alokasi Waktu	Sumber Belajar
ng pada unit tata udara domestik 4.11. Melakukan retrofit pada unit tata udara domestik	retrofit - heavy retrofit • Peralatan service - Service manifold - Thermometer - Tang amper - Pompa Vacuum - Pompa Air bertekanan - Multimeter - %Rhmeter - Dial charge (timbangan) • Gambar instalasi pemipaan sistem tata udara domestik • Pemasangan Sistem tata udara - AC Packaged - AC Split • Start-up test dan komisioning	**Menanya :** Mengkondisikan situasi belajar untuk membiasakan mengajukan pertanyaan secara aktif dan mandiri tentang pelaksanaan pekerjaan retrofit unit tata udara domestik. **Mengeksplorasi :** Mengumpulkan data yang dipertanyakan dan menentukan sumber (melalui benda konkrit, dokumen, buku, eksperimen) untuk menjawab pertanyaan yang diajukan tentang pelaksanaan pekerjaan retrofit unit tata udara domestik. **Mengasosiasi :** Mengkatagorikan data dan menentukan hubungannya, selanjutnyanya disimpulkan dengan urutan dari yang sederhana sampai pada yang lebih kompleks terkait pelaksanaan pekerjaan retrofit unit tata udara domestik k . **Mengkomunikasikan :** Menyampaikan hasil konseptualisasi tentang pelaksanaan pekerjaan retrofit unit tata udara domestik . dalam bentuk lisan, dan tulisan,	• Pengamatan kegiatan praktek pelaksanaan pekerjaan retrofit unit tata udara domestik. **Tes:** Tes tertulis terkait dengan pelaksanaan pekerjaan retrofit unit tata udara domestik. **Laporan Kerja:** Setelah menyelesaikan tugas pekerjaan pekerjaan harus menyerahkan laporan pekerjaan secara tertulis. Tugas: Retrofit unit tata udara domestik		

Catatan: jumlah minggu efektif semster ganjil/genap = 20/16 minggu

D. Rencana Aktivitas Belajar

Proses pembelajaran pada Kurikulum 2013 untuk semua jenjang dilaksanakan dengan menggunakan pendekatan ilmiah (*saintifik*). Langkah-langkah pendekatan ilmiah (*scientific appoach*) dalam proses pembelajaran meliputi menggali informasi melaui pengamatan, bertanya, percobaan, kemudian mengolah data atau informasi, menyajikan data atau informasi, dilanjutkan

dengan menganalisis, menalar, kemudian menyimpulkan, dan mencipta. Pada buku ini, seluruh materi yang ada pada setiap kompetensi dasar diupayakan sedapat mungkin diaplikasikan secara prosedural sesuai dengan pendekatan ilmiah.

Melalui buku bahan ajar ini, kalian akan mempelajari apa?, bagaimana?, dan mengapa?, terkait dengan masalah sistem refrigerasi, instalasi dan aplikasinya. Langkah awal untuk mempelajari sistem dan instalasi refrigerasi adalah dengan melakukan pengamatan (observasi)**.** Keterampilan melakukan pengamatan dan mencoba menemukan hubungan-hubungan yang diamati secara sistematis merupakan kegiatan pembelajaran yang sangat aktif, inovatif, kreatif dan menyenangkan. Dengan hasil pengamatan ini, berbagai pertanyaan lanjutan akan muncul. Nah, dengan melakukan penyelidikan lanjutan, kalian akan memperoleh pemahaman yang makin lengkap tentang masalah yang kita amati

Dengan keterampilan ini, kalian dapat mengetahui bagaimana mengumpulkan fakta dan menghubungkan fakta-fakta untuk membuat suatu penafsiran atau kesimpulan. Keterampilan ini juga merupakan keterampilan belajar sepanjang hayat yang dapat digunakan bukan saja untuk mempelajari berbagai macam ilmu, tetapi juga dapat digunakan dalam kehidupan sehari-hari.

Buku bahan ajar “Sistem dan Instalasi Tata Udara I ini, digunakan untuk memenuhi kebutuhan minimal pembelajaran pada kelas XI, semester tiga, mencakupi kompetensi dasar 3.1 dan 4.1 sampai dengan 3.6. dan 4.6, yang terbagi menjadi lima kegiatan belajar, yaitu (1) Menguraikan prinsip tata udara, (2) Menjelaskan fungsi komponen utama sistem tata udara domestic, (3) Menjelaskan alat ukur besaran fisis udara, (4) Menginterpretasi dan menyajikan gambar instalasi pemipaan refrijerasi, (5) Menjelaskan prosedur pemasangan unit tata udara domestic, (6) Menguraikan kegiatan *start-up test* dan komisioning unit tata udara domestik

II. PEMBELAJARAN

A. Kegiatan Belajar 1

Menguraikan Prinsip Tata Udara

Seni pengkondisian udara atau tata udara atau air conditioning berkembang secara gradual dari seni yang sudah berkembang sebelumnya, yaitu: cooling (pendinginan), cleaning (pemurnian), heating (pemanasan), dan ventilating (vantilasi).

Leonardo da Vinci telah berhasil membangun ventilating fan pada akhir abad ke limabelas. Berikutnya, Boyle pada tahun 1659, dan Dalton pada tahun 1800

menemukan hukum tentang udara yang sangat terkenal. Teks pertama tentang heating and vebtilating ditulis oleh Robertson Buchanan, insinyur sipil dari Glasgow pada tahun 1815. Fan, boiler, dab radiator telah ditemukan pada pertengahan abad 19. Teknologi refrigerasi baru muncul setelah itu. Pada tahun 1853, profesor Alexander Twinimg berhasil memproduksi 725 kg es per hari menggunakan mesin kompresi yang ditemukan oleh Jacob perkin pada tahun 1834. Ia menggunakan sulfurik ether sebagai refrigeran.

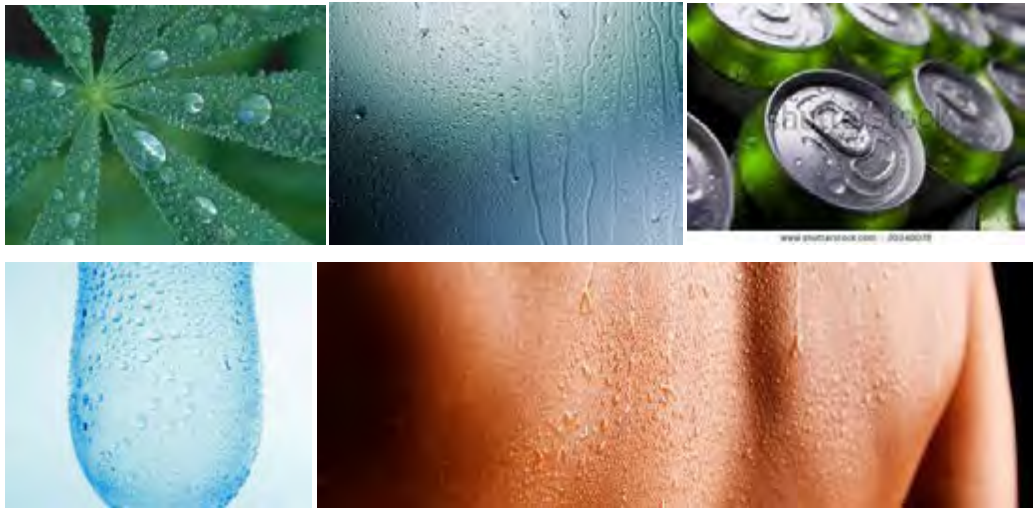
Pada pertemgaham abad ke 19, perkembangan seni penkondisian udara semakin pesatseiring dengan perkembangan industri tekstil. Selama periode tersebut banyak ditemukan peralatan ukur besarn udara seperti alat ukur tekanan udara, suhu udara, kelembaban udara, dan laju aliran udara. Demikian juga, muncul asosiasi-asosiasi di bidang pekerjaan pengkondisian udara, salah satunya adalah ASRE (American Society of Refrigerating Engineers, pada tahun 1904.

W.H Carrier (1876 – 1950) dikenal sebagai "Bapak Pengkondisian Udara". Banyak sekali hasil karya dan jasanya bagi dunia penkondisian udara seperti yang dapat kita nikmati saat ini. Ia telah menemukan formula untuk optimalisasi aplikasi forced draft fan, mengembangkan ukuran pipa untuk koil heater dan mengadakan penelitian laboratorium. Ia telah merancang dan membangun instalasi tata udara pertama yang mampu beroperasi sepanjang tahun mengikuti musim, dengan mengkombinasikan proses heating, cooling, humidifying, dan dehumidifying.

Pada tahun 1911, Carrier mempresentasikan kertas kerja (paper) tentang "Rational Psychrometric Formulae" yang berkaitan dengan hubungan dry bulb, wet bulb, dan dew point temperature dari udara dengan panas sensibel, panas laten, dan panas total, serta menyajikan juga teori adiabatic saturation. Formula itu dilengkapi dengan sebuah chart yang sangat luar biasa, yaitu Chart Psychrometric, yang berisikan semua sifat termodinamik udara.

Dalam bahan ajar ini, atensi difokuskan pada seni dan ilmu pengetahuan pengkondisian udara, yang menerapkan aplikasi tunggal refrigerasi untuk proses

pendinginan (refrigeration), heating dan *vebtilation*. Untuk itu kalian perlu mempelajari sifat-sifat substansi yang ada di dalam operasi pengkondisian udara.

.

Gambar 1.1 Fenomena Alam Sekitar Kita

Tugas 1.1 Fenomena Udara Kering dan Uap Air

Untuk mempertahankan kekuatan tubuh, kita harus makan dan minum, serta selalu menghirup oksigen dari udara sekitar kita. Ketika menjalankan ibadah puasa umat muslim kuat menahan rasa haus dan lapar hingga puluhan jam. Tetapi berapa lama kalian dapat menahan nafas? Untuk keperluan makan dan minum kalian pasti mengelurkan uang untuk pengadaannya. Tetapi bagaimana dengan oksigen yang kalian hirup setiap saat. Apakah kalian harus bayar? Dari siapa oksigen yang kalian hirup setiap saat? Pernahkan kalian mensyukuri nikmat Illahi ini?

Diskusikan dengan teman sekelompok, uraikan sifat-sifat dan komposisi udara udara atmosfir anugerah Illahi. Presentasikan hasilnya di kelas. Paparan kalian harus komprehensif, menyingkap berbagai hal dan fenomena yang dapat kelian amati dalam kehidupan keseharian kalian, seperti diperlihatkan dalam Gambar 1.1.

1. Karakteristik Udara

Tata Udara (air conditioning) dapat didefinisikan sebagai pengontrolan secara simultan semua faktor yang dapat berpengaruh terhadap kondisi fisik dan kimiawi

udara dalam struktur tertentu.Udara atmosfir merupakan substansi kerja dalam kegiatan tata udara. Unsur-unsurpenting dalam substansi kerja tersebutadalah suhu udara, kelembaban udara, pergerakan udara, distribusi udara dan polutan udara. Di mana sebagian besar dari faktor tersebut di atas dapat berpengaruh terhadap kesehatan tubuh dan kenyamanan.

Udara yang telah dikondisi secara tepat dapat hanya merupakan salah satu atau kombinasi dari berbagai pengaturan faktor-faktor di atas. Sebagai contoh: hanya proses pendinginan atau proses pemanasan saja, atau hanya proses sirkulasi udara saja dengan mengunakan fan atau hanya proses penambahan/pengurangan kelembaban udara, atau proses pemurnian (penyaringan) udara agar bebas dari polutan udara atau bahkan kombinasi dari berbagai proses tata udara seperti yang diuraikan di atas.

Udara atmosfir merupakan campuran tiga material penting yaitu udara kering (*dry air*), uap air (*water vapour atau moisture*) dan polutan seperti asap rokok, debu dan gas-gas berbahaya lainnya. Sifat-sifat uap air lazim disebut sebagai sifat *psikrometrik*, dan subyek yang berkaitan dengan perilaku uap air lazim disebut sebagai psikrometri.

Uap air berada di udara atmosfir pada tekanan parsial yang sangat rendah Pada tekanan rendah tersebut dan pada suhu atmosfir, uap air menjadi gas murni. Tekanan parsial udara kering juga berada di bawah satu atmosfir, yang juga dapat dianggap menjadi gas murni. Tekanan campuran kedua gas murni tersebut (udara kering dan uap air) dapat ditentukan dengan menggunakan Hukum Dalton.

2. Hukum Dalton tentang Tekanan Parsial Gas

Hukum Dalton tentang parsial gas, menyatakan bahwa dalam suatu campuran gas dan uap secara mekanik tidak bercampur secara kimiawi, misalnya udara kering dengan uap air, berlaku ketentuan sebagi berikut,

(1) Total masa campuran merupakan penjumlahan masa dari setiap gas, $m_t = m_a + m_w$

(2) Setiap gas mempunyai volume sama, $V_t = V_a = V_w$

(3) Suhu absolute setiap gas sama, $T_t = T_a = T_w$

(4) Tekanan campuran, merupakan penjumlahan tekanan setiap gas:

$P_t = P_a + P_w$ (1.1)

(5) Panas total (entalpi) campuran merupakan penjumlahan dari entalpi setiap gas, $Q_t = Q_a + Q_w$ (1.2)

Dalam hal ini P_t = Tekanan absolut campuran gas, dalam lb/ft^2

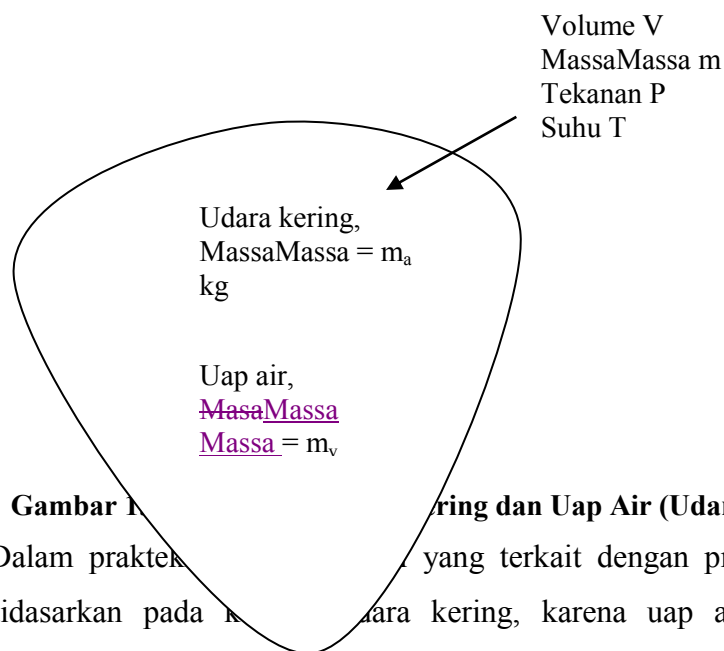
P_a = tekanan parsial udara kering, dalam lb/ft^2

P_w = tekanan parsial uap air, dalam lb/ft^2

V_a = volume udara kering dalam ft^2

V_w = volume uap air dalam ft^2

m_a = masa udara kering, dalam lb

m_w = masa uap air, dalam lb

Gambar 1 ... ring dan Uap Air (Udara Lembab)

Dalam praktek ... yang terkait dengan proses pengkondisian udara didasarkan pada k... ara kering, karena uap air sebagai variabel kontinyu. Untuk menentukan dan mengkalkulasi sifat psikrometrik, didasarkan pada kondisi udara basah dengan volume V, pada tekanan P dan suhu T, yang terdiri atas udara kering dengan masa m_a kg dan uap air dengan masa m_v kg seperti diperlihatkan dalam Gambar 1.1. Suhu aktual t dari udara basah lazim disebut sebagai dry bulb temperature (DBT). Tekanan total P sama dengan tekanan barometer.

Setiap material yang terkandung di dalam udara atmosfir mempunyai kontribusi langsung terhadap permasalahan proses pengkondisian udara.Udara kering itu sendiri merupakan campuran dari beberapa gas. Yang paling penting adalah gas

oksigen dan gas nitrogen. Selebihnya berupa gas karbondioksida dan gas-gas ringan lain, yaitu argon, neon, helium dan krypton. Carbon monoksida dapat muncul ke atmosfir bila terjadi pembakaran karbon yang tidak sempurna, misalnya dari tungku atau dapur api dan motor bakar. kandungan gas ini di udara sebesar 1% saja sudah dapat berakibat fatal bagi kehidupan manusia.

Komposisi campuran udara kering tersebut dapat dinyatakan menurut beratnya, seperti diperlihatkan dalam Tabel 1.1.

Tabel 1.1 komposisi Udara kering

Gas	Prosentase
Nitrogen	77%
Oksigen	22%
Karbondioksida	0,04%
Gas lain	0,96%

Dewasa ini, udara murni yang bebas polutan merupakan komoditi yang sukit didapat, sehingga kegiatan purifikasi dan filtrasi cenderung semakin rumit dan sulit dilakukan. Debu, asap rokok, asap pabrik, asap kendaraan bermotor, bakteri, dan gas ringan lainnya merupakan kontaminan atau polutan yang telah mencemari udara atmosfir, khususnya udara di kota-kota besar. Sistem pengkondisian udara atau sistam tata udara berskala besar biasanya sudah membuang kontaminan tersebut, tetapi untuk kebanyakan sistem berskala rendah, untuk keperluan domestik atau skala rumah tangga belum dilengkapi dengan sistem filtrasi seperti itu.

Dalam sistem tata udara, semua faktor yang berkaitan dengan komposisi udara menjadi pertimbangan utama. Pengontrolan suhu merupakan suatu keniscayaan yang tak dapat dihindari lagi. Debu, kotoran, asap rokok, dan bau tak sedap harus dapat dieliminasi atau dikurangi hingga mencapai titik aman dan nyaman bagi manusia atau produk lainnya. Pengontrolan jumlah kandunagn uap air atau tingkat kelembaban udara ruang, merupakan satu hal yang sangat penting karena hal tersebut

langsung berkaitan dengan kenyamanan hunian atau dalam proses produksi di industri.

Udara yang terlalu kering, akan berakibat langsung pada dehidrasi, yaitu hilangnya sebagian besar cairan tubuh manusia, kulit menjadi kering dan bersisik. Disamping itu juga dapat merusak material lain seperti sayuran dan buah-buahan. Sedang udara yang terlalu basah, akan menyebabkan kurang nyaman, tidak bagus untuk kesehatan. Pada industri manufaktur tertentu, diperlukan ruang yang sangat bersih, bebas polutan dengan mengontrol secara cermat suhu, kelembaban dan polutan udara. Aktivitas ini lazim disebut sebagai ruang bersih atau clean room.

3. Campuran Uap air dan Udara Kering

Dari semua sifat-sifat udara yang mempunyai efek langsung terhadap proses pengkondisian udara selain suhu udara adalah kandungan uap air di udara atau kelembaban udara. Kandungan uap air di udara ruang merupakan sifat yang paling penting untuk dipertimbangkan. Uap air selalu ada di dalam setiap udara atmosfir dan jumlahnya dapat berpengaruh langsung terhadap kenyamanan. Suatu studi yang membahas tentang sifat-sifat atau karakteristik campuran udara kering dan uap air disebut Psikrometrik.

Kandungan uap air di udara bervariasi di setiap lokasi atau daerah. Di Daerah yang memiliki empat musim biasanya memiliki udara yang sangat kering artinya jumlah kandungan uap airnya sangat rendah. Di daerah tropis seperti indonesia, kandungan uap air di udara sangat tinggi sehingga udaranya lembab. Dalam prakteknya, pengaturan jumlah kandungan uap air ini merupakan faktor yang memiliki kesulitan lebih tinggi dibandingkan dengan pengaturan suhu.

Seperti namanya uap air adalah bentuk gas dari air pada suhu di bawah titik uap air, yang nilainya tergantung pada tekanan atmosfir. Pada suhu dan tekanan barometer tertentu, uap air dapat berwujud gas atau liquid. Hal ini dapat dibuktikan dengan adanya formasi awan dan kabut. Kandungan uap air di udara dapat mencapai 1 hingga 3% dari total volume udara. Uap air dapat menguap pada tekanan yang sangat rendah. Misalnya, pada tekanan 29 *inchi* mercury di bawah nol, uap air akan menguap pada suhu 27 ^{o}C.

Jumlah kandungan uap di udara berpengaruh terhadap kelembaban udara. Kelembaban udara di suatu tempat dapat bertambah tinggi bila konsentrasi uap air di tempat tersebut ditambah. Dan sebaliknya bila konsentrasi uap airnya dikurangi maka tingkat kelembabannya akan turun. Pengurangan dan penambahan kandungan uap air di udara ruang merupakan salah satu kegiatan pengkondisian udara untuk kenyamanan. Karena tingkat konsentrasi uap air yang terkandung di udara ruang dapat berpengaruh terhadap kenyaman penghuninya.

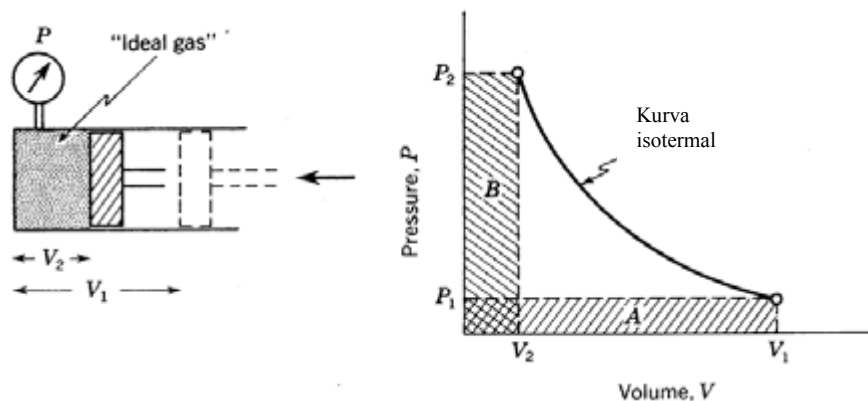
Untuk mengukur jumlah kandungan uap air di udara digunakan satuan grains per kilogram udara. Di mana 1 grain = 0,065gram.

4. Hukum Boyle

Hukum Boyle merupakan suatu pernyataan penting yang menyangkut sifat gas, yaitu pada suhu konstan, volume gas berbanding terbalik dengan tekanan absolutnya. Dalam formula matematika Hukum boyle menjadi seperti berikut,

$$(P_1)(V_1) = (P_2)(V_2) \qquad (1.3)$$

$$(P_1)/(V_2) = (P_2)/(V_1) \qquad (1.4)$$

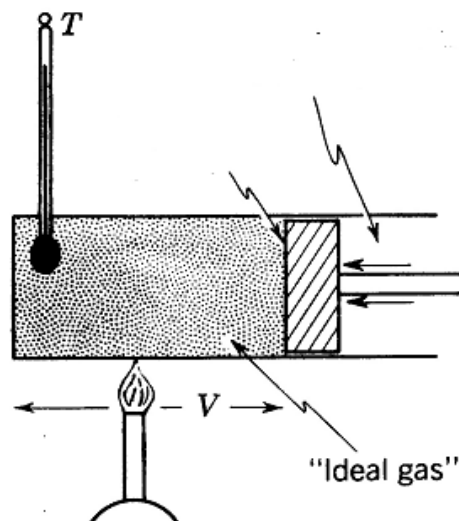
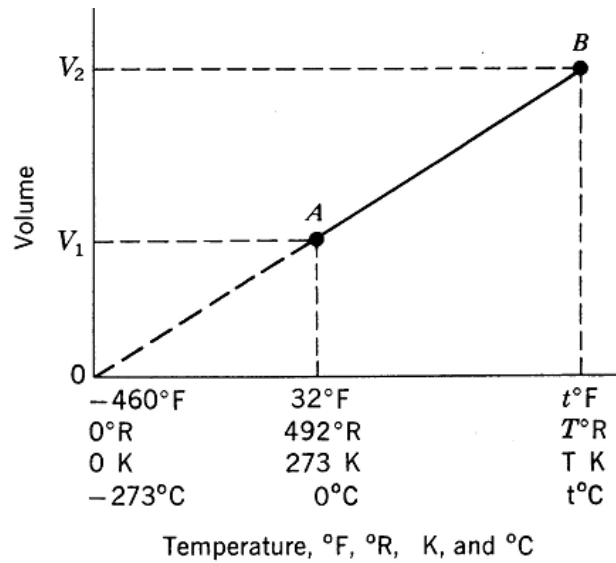
Hukum Boyle ini dapat diverifikasi melalui percobaan sederhana seperti diperlihatkan dalam Gambar 1.2, yaitu percobaan pemampatan gas yang berlangsung pada suhu konstan.

Gambar 1.2 Gas di dalam silinder dikompresitetapi suhu gas dipertahankan konstan. Dari kurva P-V diketahui, bahwa area yang ada di bawah kurva memiliki luas sama, yaitu $(P_1)(V_1) = (P_2)(V_2)$.

5. Hukum Charles

Hukum Charles merupakan suatu pernyataan penting yang menyangkut sifat gas, yaitu pada tekanan konstan, volume gas berbanding lurus dengan suhu absolutnya. Dalam formula matematika Hukum Charles menjadi seperti berikut,

$$(V_1)(T_2) = (V_2)(T_1) \qquad (1.5)$$

$$(V_1)/(V_2) = (T_1)/(T_2) \qquad (1.6)$$

Hukum Charles ini dapat diverifikasi melalui percobaan sederhana seperti diperlihatkan dalam Gambar 1.3, yaitu percobaan pemampatan gas yang berlangsung pada tekanan konstan.

Gambar 1.3 Gas di dalam silinder dipampatkan sedemikan sehingga suhu gas tetap konstan.

Gambar 1.4 Kurva V-T. Dari kurva V-T yang merupakan garis lurus diketahui bahwa ratio dua variabel pada titik A dan titik B mempunyai nilai sama, sehingga (V_1)/(V_2) = (T_1)/(T_2).

Dari kedua hukum tersebut diperoleh formula baru, yaitu

$$\frac{(P1)(V1)}{T1} = \frac{(P2)(V2)}{T2} \qquad (1.7)$$

Persamaan 1.7 menyatakan, untuk besaran masa dan jenis gas tertentu, maka perbandingan tekanan kali volume dengan suhu adalah konstan.

$$\frac{(P)(V)}{T} = konstan \qquad (1.8)$$

Untuk jenis gas tertentu, dengan masa sebesar 1 kg, maka besaran volumenya dapat diganti dengan volume spsesifik (υ), sehingga persamaan 1.8 dapat dituliskan menjadi,

$$\frac{(P)(\upsilon)}{T} = R \qquad (1.9)$$

Dalam hal ini, R adalah konstanta gas yang besarannya berbeda untuk setiap gas. Tabel 1.2 memperlihatkan besaran R untukbeberapa jenis gas.

Dengan mengalikan kedua sisi persamaan 1.9 dengan masa m, didapat

$(m)(P)(\upsilon) = (m)(R)(T)$, karena $(m)(\upsilon) = V$, maka

$$(P)(V) = (m)(R)(T) \qquad (1.10)$$

Dalam hal ini P = tekanan absolut gas, dalam pascal (Pa)

V = volume gas, dalam meter kubik (m^3)

M = masa dalam kilogram (kg)

R = konstanta gas dalam (J/kg.K)

T = suhu absolut, dalam kelvin

Suhu kelvin = $_{O}$C + 273^{o}C

Persamaan 1.10 dikenal dengan sebutan Hukum Gas Umum

Tabel 1.2 Beberapa Sifat Gas

Gas	K	C_P kJ/kg.K	C_V kJ/kg.K	R J/kg.K
Udara	1,406	1,0000	0,711	287
Amonia	1,273	2,1269	1,6705	487
Karbondioksida	1,28	0,8709	0,6783	189
Karbonmonoksida	1,403	1,0174	0,7243	297
Hidrogen	1,41	14,277	10,132	4124
Nitrogen	1,41	1,0216	0,7243	297
Oksigen	1,4	0,9127	0,6531	260
Sulfurdioksida	1,26	0,6448	0,5150	130

Contoh 1.1 Sebuah tangki untuk kompresor udara mempunyai volume 2 m^3. Tangki berisi udara dengan suhu 40^{o}C. Bila meter tekanan pada tangki menunjukkan 7,5 bar, tentukanmasa udara di dalam tangki?

Solusi dari Tabel 1.2, R udara adalah 287 J/kg.K. Tekanan absolut udara adalah 7,5 bar + 1 bar = 8,5 bar = 850.000 pascal, dengan menggunakan persamaan 1.10, didapat

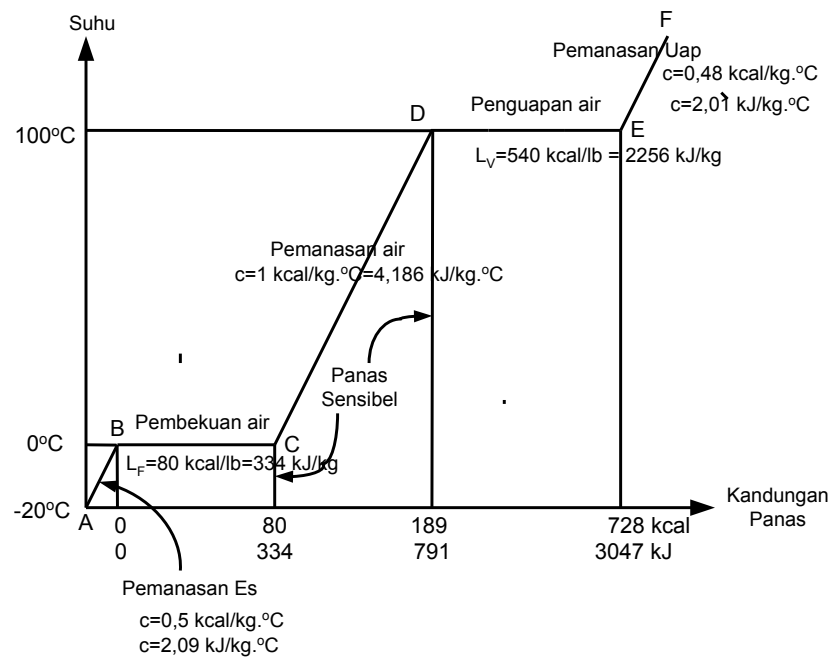
$$m = \frac{(850.000) Pa x (2) m^3}{(287) J/kg.K x (40 + 273) K} = 18,95 \text{ kg}$$

Contoh 1.2 2 kilogram udara mempunyai volume 0,2 m3. Bila tekanan absolut udara 8,84 bar,tentukan suhu kelvin untuk udara?

Solusi

$$T = \frac{884.000 (Pa) x 0,2 (m^3)}{2 (kg) x 287 (J/kg.K)} = 308 \text{ K}$$

6. Suhu Saturasi

Kalian tentu masih ingat, konsep perubahan fase zat air. Untuk menggali ingatan amati Gambar 1.5 berikut ini, dan interpretasikan menurut versi kalian masing-masing.

Gambar 1.5 Proses Perubahan Fase Zat Air

Pada setiap saat proses perubahan fase, selalu berlangsung pada suhu konstan. Ini berarti, pada saat perubahan fase berlangsung energi panas yang diserap oleh suatu zat hanya semata-mata digunakan untuk proses perubahan fase. Energi panas yang digunakan untuk perubahan fase disebut panas laten. Suhu di mana suatu fluida atau zat cair merubah dari fasa cair menjadi fasa uap atau gas, atau kebalikannya, yaitu dari fasa gas berubah menjadi fasa cair, disebut suhu saturasi. Likuid yang berada pada suhu saturasi disebut likuid saturasi dan uap yang berada pada suhu saturasi disebut uap saturasi. Satu hal penting yang perlu diketahui adalah, suhu saturasi untuk likuid (suhu di mana likuid akan menguap) dan suhu saturasi uap (suhu di mana uap mulai mengembun) adalah sama pada suatu tekanan tertentu.

Pada suatu tekanan tertentu, suhu saturasi adalah suhu maksimum likuid dan suhu minimum uap yang dapat dicapai. Adanya usaha untuk menaikkan suhu suhu likuid di atas suhu saturasi hanya akan menyebabkan menguapnya beberapa bagian dari likuid. Hal yang sama akan terjadi, bila adanya upaya untuk menurunkan suhu uap di bawah suhu saturasi uap, hanya akan menyebabkan beberapa bagian uap mengembun.

Gambar 1.6 Proses Pemanasan Lanjut Melalui Alat Pemisah *Superheater*

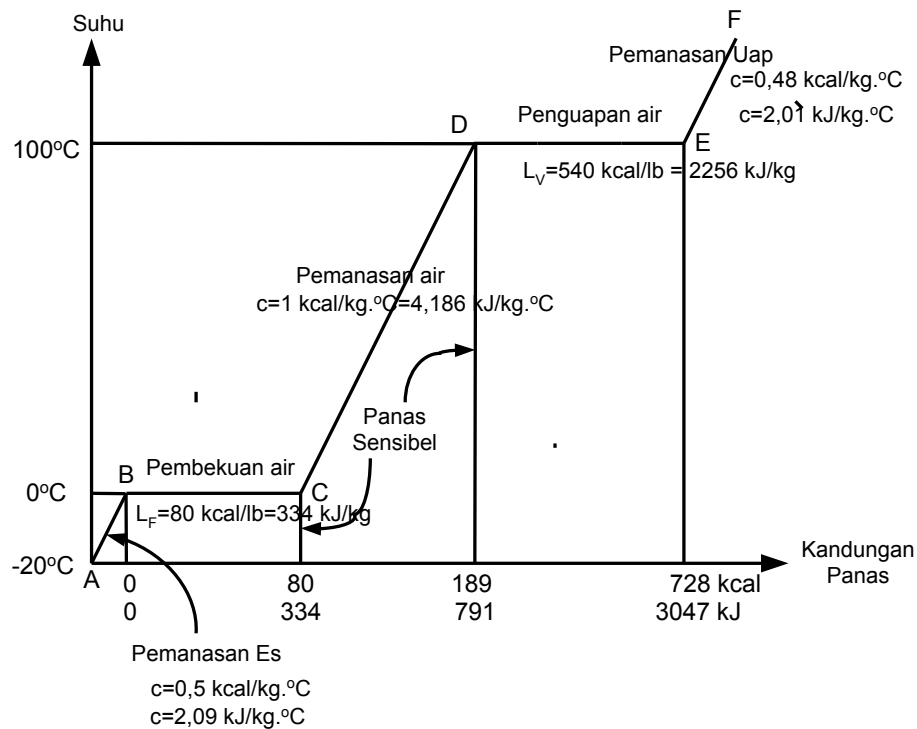
7. Uap Panas Lanjut

Uap yang berada di atas suhu saturasi uap tetapi tetap pada tekanan saturasi uap dikenal dengan sebutan uap panas lanjut (*superheated vapour*). Begitu fasa likuid telah berubah menjadi fasa uap (menguap), maka suhu uap tersebut dapat dinaikkan lagi dengan menambahkan energi panas kepadanya. Bila suhu uap sudah naik jauh di atas suhu saturasi uap, maka uapnya disebut mengalami pemanasan lanjut, dan energi yang digunakan untuk membuat panas lanjut uap, disebut sebagai panas lanjut (*superheat*).

Sebelum uap dapat dibuat berada dalam fasa panas lanjut, maka uap harus dipisahkan hubungannya dengan penguapan likuid. Demikian juga, uap panas lanjut yang akan diembunkan, pertama-tama harus didinginkan hingga mencapai suhu saturasi pada tekanan saturasi likuid. Gambar 1.6 menjelaskan maksud tersebut.

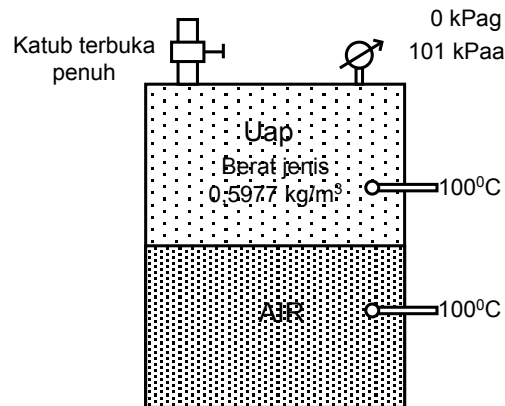
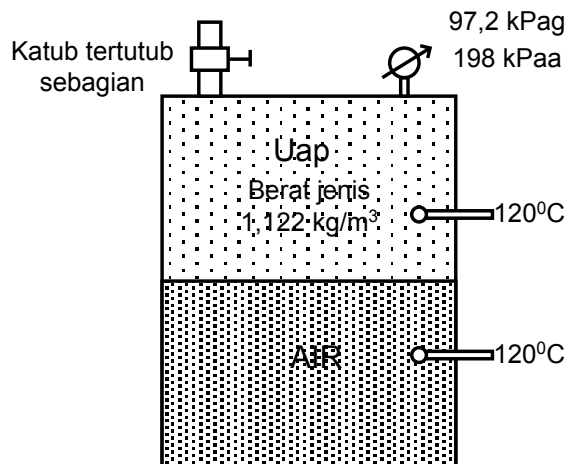
8. Cairan Super Dingin

Bila setelah mengalami kondesasi (pengembunan), likuid hasil pengembunan tersebut dilanjutkan lagi proses pendinginannya sehingga suhu likuid turun di bawah suhu saturasi, likuid tersebut dikatakan menjadi superdingin (*subcooled*). Konsenkuensinya, suatu likuid pada suhu di bawah suhu saturasi likuid, disebut

likuid super dingin. Pada kasus Gambar 2.7, cairan super dingin terletak antara garis D – C. Pada suhu 100°C disebut air saturasi, tetapi suhu air di bawah suhu saturasi disebut suhu *subcooled*. Misalkan pada suhu 30°C, kondisi air disebut *subcooled* dengan derajat *subcooled* sebesar 70 derajat.

Gambar 1.7 Perubahan Fasa Zat Air

9. Efek Tekanan pada Suhu Saturasi

Suhu saturasi suatu fluida tergantung pada tekanan yang bekerja pada fluida tersebut. Kenaikan tekanan pada fuida akan menyebabkan naiknya suhu saturasi.

Untuk mengilustrasikan efek tekanan pada suhu saturasi liquid, asumsikan sebuah bejana berisi air seperti diperlihatkan dalam Gambar 1.7. Meter tekanan pada bejana mengukur tekanan air di dalam bejana dan dua buah thermometer untuk mengukur suhu air dan suhu uap didalam bejana.

Gambar 1.8 Bejana airKatub terbuka penuh sehingga tekanan air di bejana sama dengan tekanan atmosfir 0 kPag.Suhu air dan suhu uap di dalam bejana sama 100^{o}C. Berat jenis uap 0,5977 kg/m^{3}.

Gambar 1.9 Bejana airKatub tertutup sebagian sehingga tekanan air di bejana naik menjadi 97,2 kPag atau 198,2 kPaa. Pada kondisi ini suhu air dan suhu uap naik menjadi 120^{o}C, dan berat jenis uap naik menjadi 1,122 km/m^{3}.

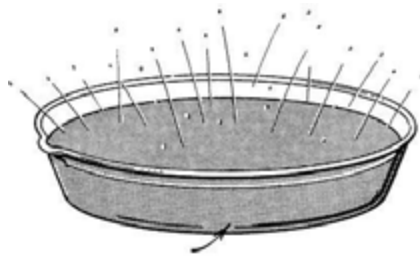
Dalam gambar 1.9, laju penguapan tidak berpengaruh terhadap suhu dan tekanan saturasi karena uapnya langsung keluar ke udara bebas sehingga berat jenis dan tekanan uap tidak naik atau turun.Tetapi pada kasus gambar 1.8, karena katubnya tertutup sebagian, maka uap tidak bebas keluar. Adanya kenaikan laju penguapan, akan menyebabkan kenaikan berat jenis uap dan tekanan uap (naik menjadi 97,2 kPag). Hal ini mengakibatkan suhu saturasinya juga naik menjadi 120^{o}C. Indek g pada kPag, menyatakan bahwa angka tersebut diperoleh dari pengukuran meter tekanan (gauge) dan indek a pada kPaa menyatakan tekanan absolut.

Kemudian, bila katub dibuka penuh kembali, maka secara berangsur-angsur uap akan bebas keluar. Tekanan uap akan turun kembali ke 0 kPag demikian juga berat jenis uap.

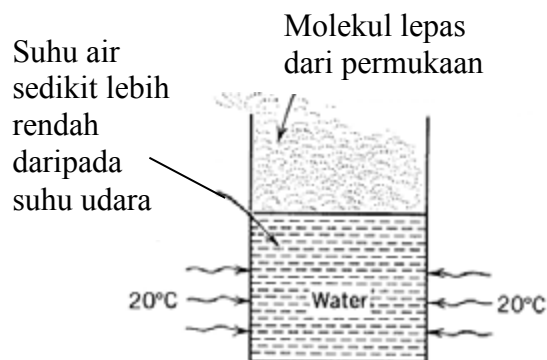
10. Evaporasi

Dalam contoh-contoh sebelumya, kita dapat menguapkan air dengan cara menaikkan suhu air sehingga mencapai titik didihnya. Pada kondisi demikian maka secara gradual air berubah menjadi uap. Proses tersebut disebut penguapan atau vaporisasi. Proses penguapannya terjadi pada suhu di atas suhu saturasi. Pada kehidupan sehari-hari kita dapat melihat proses penguapan yang terjadi pada air sungai, air danau, dan pakaian basah. Cukup bukti, bahwa penguapan pada kondisi tersebut dapat terjadi pada suhu di bawah suhu saturasi. Air yang ada di suatu permukaan, misalnya air yang berada permukaan bodi mobil, dengan mengabaikan suhunya, akan menguap secara gradual diserap oleh udara atmosfir.

Penguapan air di bawah suhu saturasi dapat dijelaskan sebagai berikut. Molekul air akan berada dalam pergerakan dengan kecepatan konstan. Dalam pergerakannya, molekul akan bertumbukan dengan molekul lainnya, yang mengakibatkan kecepatannya lebih tinggi dari kecepatan rata-rata molekul lainnya. Sehingga energinyapun lebih tinggi dari energi rata-rata molekul lainnya. Bila ini berlangsung pada molekul yang ada dipermukaan air, maka molekul yang memiliki energi ekstra tinggi akan melepaskan diri dan ke udara dan menjadi lolekul udara. Keadaan ini akan berlangsung secara terus menerus.

Pada suhu tertentu, beberapa jenis liquid akan menguap lebih cepat dari pada liquid lainnya. Liquid yang mempunyai titik didih paling rendah, yakni suhu saturasi paling rendah, pada tekanan tertentu akan menguap paling cepat. Pada kebanyakan liquid, laju evaporasinya naik bila suhunya juga naik atau bila tekanannya turun.

Gambar 1.10 Evaporasi yang berlangsung pada permukaan liquid

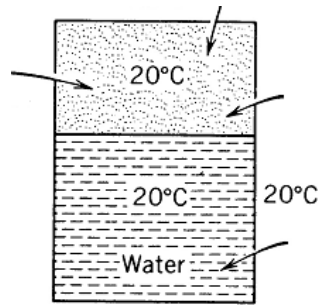
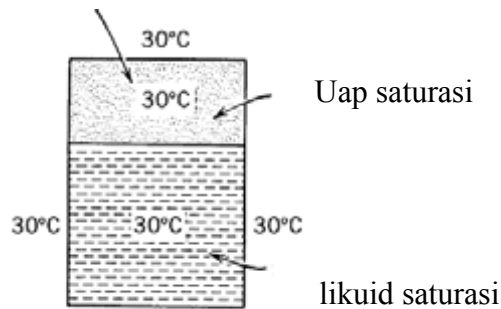
11. Kondensasi

Pada pembahasan sebelumnya sudah dibuktikan bahwa uap saturasi yang mengalami pendinginan akan mengalami proses kondensasi dan berubah fasanya menjadi liquid. Ini dapat terjadi karena uap tidak dapat mempertahankan fasa vapornya pada suhu di bawah suhu saturasi. Bila uap tersebut didinginkan, molekul uap tidak dapat mempertahankan energi dan kecepatannya untuk mengatasi gaya tarik antar molekul sebagai molekul uap, dan berubah menjadi molekul liquid. Bila kondensasi berlangsung, dan volume tetap, maka tekanan dan berat jenis uap turun, sehingga suhu saturasinay juga turun.

Gambar 1.11 Evaporasi dari permukaan air yang ada di dalam bejana terbuka.

Molekul tidak
dapat keluar

0,0234 bar

Uap saturasi

likuid saturasi

Gambar 1.12 Molekul yang lepas dari permukaan air tidak dapat keluar dan kembali ke liquid. Suhu liquid dan suhu uap air sama dengan suhu udara, kondisinya menjadi saturasi

Gambar 1.13Kondisi Saturasi dengan Suhu dan tekanan berbeda

12. Suhu Titik Embun (*dew point*)

Perlu diketahui, kenyataannya uap air yang terkandung di udara atmosfer adalah uap bertekanan rendah. Seperti halnya dengan uap bertekanan tinggi, uap bertekanan rendahpun akan dapat berada dalam kondisi saturasi pada suhu dan tekanan tertentu. Tekanan dan suhu di mana udara kering dan uap air mencapai kondisi saturasi, disebut tekanan dan suhu saturasi.

Dalam kondisi saturasi, campuran air dan uap air menempati volume sama, demikian juga suhu dan tekanannya. Bila udara kering berada pada suhu di atas suhu saturasinya, sesuai dengan tekanan parsial uap air, maka kondisi uap air akan berubah menjadi kondisi *superheat* (panas lanjut). Di lain pihak, bila udara kering berada pada suhu yang sama dengan suhu saturasi sesuai dengan tekanan parsial uap airnya, maka uap air yang ada di udara menjadi saturasi.

Suhu, di mana uap air yang terkandung di udara menjadi saturasi disebut sebagai suhu titik embun dari udara. (*dew point temperature*). Suhu titik embun udara atmosfer selalu suhu saturasi sesuai dengan tekanan parsial yang diterima uap air. Jadi, bila tekanan saturasi parsial dari uap air diketahui, maka suhu titik embun dari udara atmosfer dapat ditentukan dari Tabel 1.3. Sebaliknya bila suhu titik embun udara diketahui, maka tekanan parsial uap airnya juga dapat diketahui.

Pada titik suhu tertentu maka uap air yang terkandung di udara ruang akan merubah wujud menjadi likuid atau mengembun. Salah satu faktor penting yang perlu dipertimbangkan dalam merencanakan pengkondisian ruangan adalah suhu titik embun.

Suhu titik embun adalah suhu udara pada tekanan atmosfer di mana uap air di udara mulai mengembun merubah wujud menjadi titik-titik embun. Penerapan dari fenomena ini dapat ditemukan di lemari es. Dengan dipasangnya *mullion heater* yaitu pemanas yang diletakkan di sepanjang pintu lemari es maka dinding lemari es tidak menjadi basah akibat mengembunnya uap air yang terkandung di udara sekitarnya.

Tabel1.3 Sifat Air, Saturasi Likuid dan Saturasi Uap

Suhu ^{o}C	Tekanan Saturasi bar	Volume spesifik m^3/kg		Entalpi kJ/kg	
		Likuid	Uap	Likuid	Uap
0	0,006108	0,0010002	206,3	0,04	2501,6
2	0,007055	0,0010001	179,0	8,39	2505,2
4	0,008129	0,0010000	157,3	16,8	2508,9
6	0,009345	0,0010000	137,8	25,21	2512,6
8	0,010720	0,0010001	121,0	33,6	2516,2
10	0,012270	0,0010003	106,4	41,99	2519,9
12	0,014014	0,0010004	93,84	50,38	2523,6

Suhu °C	Tekanan Saturasi bar	Volume spesifik m^3/kg		Entalpi kJ/kg	
		Likuid	Uap	Likuid	Uap
14	0,015973	0,0010007	82,90	58,75	2527,2
16	0,018168	0,0010010	73,38	67,13	2530,9
18	0,020620	0,0010013	65,09	75,5	2534,5
20	0,023370	0,0010017	57,84	83,86	2538,2
22	0,026420	0,0010022	51,49	92,23	2541,8
24	0,029820	0,0010026	45,93	100,59	2545,5
26	0,033600	0,0010032	41,03	108,95	2549,1
28	0,037780	0,0010037	36,73	117,31	2552,7
30	0,042410	0,0010043	32,93	125,66	2556,4
32	0,047530	0,0010049	29,57	134,02	2560,0
34	0,053180	0,0010056	26,6	142,38	2563,6
36	0,059400	0,0010063	23,97	150,74	2567,2
38	0,066240	0,0010070	21,63	159,09	2570,8
40	0,073750	0,0010078	19,55	167,45	2574,4
42	0,081980	0,0010086	17,69	175,81	2577,9
44	0,091000	0,0010094	16,04	184,17	2581,5
46	0,10086	0,0010103	14,56	192,53	2585,1
48	0,11162	0,0010112	13,23	200,89	2588,6
50	0,12335	0,0010121	12,05	209,26	2592,2
52	0,13613	0,0010131	10,98	217,62	2595,7
54	0,15002	0,0010140	10,02	225,98	2599,2
56	0,16511	0,0010150	9,159	234,35	2602,7

Suhu °C	Tekanan Saturasi bar	Volume spesifik m^3/kg		Entalpi kJ/kg	
		Likuid	Uap	Likuid	Uap
58	0,18147	0,0010161	8,381	242,72	2606,2
60	0,19920	0,0010171	7,679	251,9	2609,7
62	0,2184	0,0010182	7,004	259,46	2613,2
64	0,2391	0,0010193	6,469	267,84	2616,6
66	0,2615	0,0010205	5,948	276,21	2620,1
68	0,2856	0,0010217	5,475	284,59	2623,5
70	0,3116	0,0010228	5,046	292,97	2626,9
72	0,3396	0,0010241	4,656	301,35	2630,3
74	0,3696	0,0010253	4,300	309,74	2633,7
76	0,4019	0,0010266	3,976	318,13	2637,1
78	0,5365	0,0010279	3,680	326,52	2640,4
80	0,4736	0,0010292	3,409	334,92	2643,8
82	0,5133	0,0010305	3,162	343,31	2647,1
84	0,5557	0,0010319	2,935	351,71	2650,4
86	0,6011	0,0010333	2,727	360,12	2653,6
88	0,6495	0,0010347	2,536	368,53	2656,9
90	0,7011	0,0010361	2,361	376,94	2660,1
92	0,7561	0,0010376	2,200	385,36	2663,4
94	0,8146	0,0010391	2,052	393,78	2666,6
96	0,8769	0,0010406	1,915	402,20	2669,7
98	0,9430	0,0010421	1,789	410,63	2672,9
100	1,0133	0,0010437	1,673	419,06	2676,0

Contoh 1.3 Asumsikan suatu udara ruang mempunyai suhu 26^{o}C (terukur dengan *thermometer*), dan tekanan saturasi parsial yang diterima oleh uap air yang terkandung di dalam udara tersebut adalah 0,012270 bar. Tentukan suhu titik embun dari udara tersebut?

Solusi: Dari Tabel 1.3, diketahui bahwa suhu saturasi uap sesuai tekanan saturasi parsial 0,012270 adalah 10^{o}C. Jadi suhu titik embun udara tersebut adalah 10^{o}C.

Contoh 1.4 Suhu udara di ruang tertentu terukur dengan *thermometer* sebesar 26^{o}C. Diketahui suhu titik embun di ruuang tersebut adalah 16^{o}C. Tentukan tekanan saturasi parsial yang diterima oleh uap air yang terkandung di dalam udara ruang tersebut?

Solusi Dari Tabel 1.3, diketahui tekanan saturasi pada suhu 16^{o}C adalah 0,018168 bar. Ini adalah tekanan parsial yang diterima oleh uap airnya

13. Kandungan Uap air Maksimum

Kandungan uap air yang dapat bercampur dengan udara kering tergantung pada suhu udara. Karena jumlah uap air di udara menentukan tekanan parsial pada uap air, maka sudah pasti, udara akan dapat mengandung uap air maksimum bila uap air di udara menerima tekanan parsial maksimum. Karena tekanan parsial maksimum yang dapat diterima oleh uap air merupakan tekanan saturasi yang berhubungan langsung dengan suhu saturasi, maka udara akan mengandung uap air maksimum (mempunyai berat jenis uap air maksimum) ketika tekanan yang diterima uap air sama dengan tekanan saturasi pada suhu udara tersebut. Pada kondisi ini, suhu udara dan suhu bola kering menjadi sama,dan udara dikatakan menjadi saturasi. Sebagai catatan, semakin tinggi suhu udara, semakin tinggi pula tekanan parsial maksimum dan semakin tingi pula kandungan uap air di udara.

14. Kelembanan Absolut

Kandungan uap air di udara lazim disebut sebagai kelembaban udara. Kelembaban absolut udara pada suatu kondisi adalah masa uap air setiap satuan volume udara pada kondisi tersebut dan dinyatakan sebagai berat jenis uap air. Kelembaban absolut atau berat jenis uap air dinyatakan dalam satuan gram per meter kubik atau kilogram per meter kubik. Kembali ke Hukum Dalton, bahwa masa uap air aktual per satuan volume udara (berat jenis uap air) adalah semata-mata metrupakan fungsi dari suhu bola kering udara

15. Kelembaban Relatif

Kelembaban relatif (RH), dinyatakan dalam persen (%), adalah perbandingan antara tekanan parsial aktual yang diterima uap air dalam suatu volume udara tertentu dengan tekanan parsial yang diterima uap air pada kondisi saturasi pada suhu udara saat itu. Jadi:

$$\mathrm{RH} = \frac{\text{Tekanan Parsial Aktual}}{\text{Tekanan Parsial Saturasi}}$$

Untuk keperluan praktis, RH seringkali dinyatakan sebagai suatu perbandingan yang dinyatakan dalam persen (%) antara berat jenis uap air aktual dengan berat jenis uap air pada keadaan saturasi.

Contoh 1.5 Suatu udara sampel mempunyai suhu 26^{o}C. Suhu titik embunnya 10^{o}C. Tentukan %RH.

Solusi Dari Tabel 3.3, tekanan parsial uap air pada suhu titik embun 10^{o}C adalah 0,012270 bar. Tekanan parsial pada titik embun 26oC adalah 0,03360 bar. Dengan formula 3.9, didapat

$$RH = \frac{0{,}012270(bar)}{0{,}03360(bar)} x100 = 36{,}5\%$$

Contoh 1.6 tentukan RH udara dala contoh 3.6, bila suhu udara diturunkan menjadi 16^{o}C.?

Solusi Karena kandungan uap di udara tetap konstan, maka suhu titik embunnya juga tetap sama. Dari tabel 3.3, tekanan parsial uap air pada suhu 10°C dan pada suhu 16°C adalah 0,012270 bar dan 0,018168 bar. Sehingga RH adalah

$$RH = \frac{0{,}012270(bar)}{0{,}018168(bar} x100 = 67{,}5\%$$

16. Kelembaban Spesifik

Kelembaban spesifik atau ratio kelembaban (w), dinyatakan dalam besaran masa uap air yang terkandung di udara per satuan masa udara kering yang diukur dalam gram per kilogram dari udara kering (gr/kg) atau kg/kg.

Pada tekanan barometer tertentu, kelembaban spesifik merupakan fungsi dari suhu titik embun. Tetapi karena penurunan tekanan barometer menyebabkan volume per satuan masa udara naik, maka kenaikan tekanan barometer akan menyebabkan kelembaban spesifik menjadi turun. Hal ini dinyatakan dengan formula:

$$w = \frac{(0{,}622)x(P_W)}{(P)-(P_W)} \qquad (1.12)$$

Dalam hal ini, w = ratio kelembaban dalam kg/kg

P_W = tekanan parsial uap air pada suhu titik embun, dalam pascal

P = Tekanan baormeter, dalam pascal

Contoh 1.7 Tentukan ratio kelembaban suatu udara sampel yang mempunyai suhu 26°C pada tekanan barometer standar. Suhu titik embunnya adalah 10°C.

Solusi Dari Tabel 3.3, tekanan parsial uap air pada suhu titik embun 10°C adalah 0,012270 bar dan tekanan atmosfir normal adalah 101.000 pascal. Dengan formula 3.10, didapat

$$w = \frac{0{,}622(kg/kg)(1227(Pa)}{101.000(Pa)-1227(Pa)} = 0{,}00762 \text{ kg/kg atau}$$

w = 7,62 g/kg

17. Suhu Bola Kering dan Suhu Bola Basah

Thermometer yang lazim digunakan untuk mengukur suhu adalah *thermometer* bola kering. Bila sensor panas (*remotebulb*) *thermometer* yang digunakan untuk mengukur suhu dijaga dalam kondisi kering maka *thermometer*nya disebut sebagai *thermometer* bola kering. Hasil pengukuran suhu dengan alat ini disebut sebagai: Suhu Bola Kering. Dalam keadaan biasa, bila ukuran suhu tersebut tidak diberi penjelasan khusus maka dianggap sebagai ukuran bola kering. Sebagai contoh: 20 ^{0}C bola kering atau cukup dengan: 20 ^{0}C.

Bila sensor panas (*remote bulb*) *thermometer* yang digunakan sengaja dikondisikan menjadi basah, yaitu sengaja ditutup oleh kain yang higroskopis maka ukuran suhu yang diperoleh disebut sebagai ukuran suhu bola basah. Dalam kondisi biasa maka adanya cairan yang melingkupi sensor panas ini maka penunjukan skala suhu bola basah akan lebih rendah dengan penunjukan suhu bola kering. Tetapi bila kandungan uap air di udara mencapai titik maksimalnya (titik jenuh) maka penunjukkan kedua jenis *thermometer* tersebut menjadi sama.

Dalam keadaan jenuh maka cairan yang ada di sekeliling *remote bulb thermometer* tidak dapat menguap lagi sehingga penunjukkan *thermometer* basah menjadi sama dengan *thermometer* bola kering. Tetapi bila kondisi udara ruang belum mencapai saturasi maka penunjukkan *thermometer* bola basah selalu lebih rendah dari bola kering, akibat adanya efek penguapan cairan yang terjadi pada *thermometer* bola basah. Alat khusus dapat digunakan untuk mengukur bola basah dan bola kering disebut *Sling Psychrometer*.

Permasalahan

1. Sebuah tangki untuk kompresor udara mempunyai volume 2,5 m^3. Tangki berisi udara dengan suhu 40^{o}C. Bila meter tekanan pada tangki menunjukkan 7 bar, tentukan massa udara di dalam tangki?

2. Asumsikan suatu udara ruang mempunyai suhu 28^{o}C (terukur dengan *thermometer*), dan tekanan saturasi parsial yang diterima oleh uap air yang

terkandung di dalam udara tersebut adalah 0,012270 bar. Tentukan suhu titik embun dari udara tersebut?

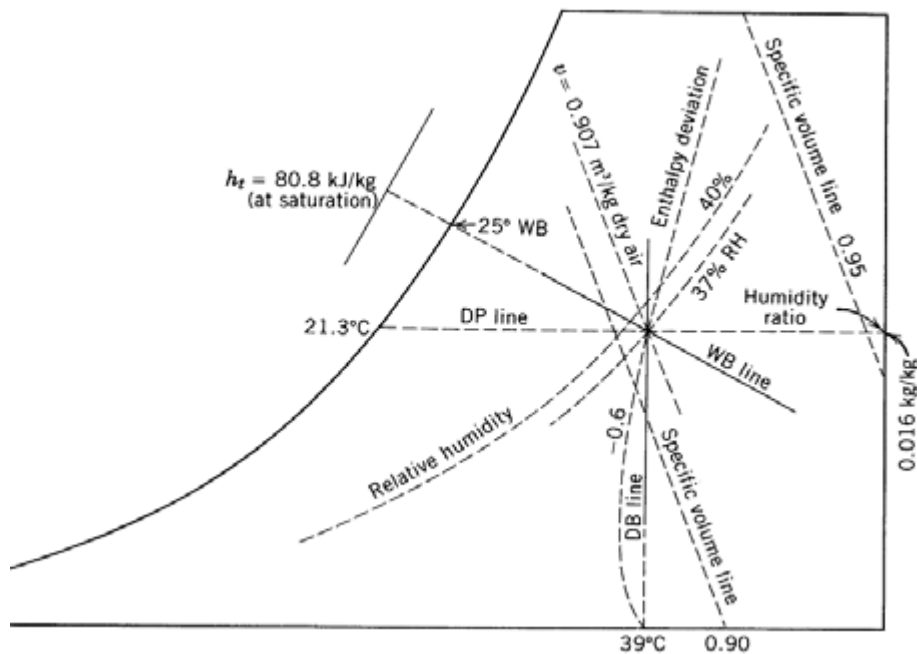
3. Suhu udara di ruang tertentu terukur dengan *thermometer* sebesar 30^{o}C. Diketahui suhu titik embun di ruang tersebut adalah 16°C. Tentukan tekanan saturasi parsial yang diterima oleh uap air yang terkandung di dalam udara ruang tersebut?

4. Tentukan kelembaban absolut udara sampel yang mempunyai suhu titik embunnya 18^{o}C. Anggaplah nilai konstanta gas adalah 461 J/kg.K

5. Tentukan ratio kelembaban suatu udara sampel yang mempunyai suhu 29^{o}C pada tekanan barometer standar. Suhu titik embunnya adalah 12^{o}C

18. Chart Psikrometrik

Psychrometric Chart atau Chart psikrometrik merupakan hasil karya jenius peninggalan kakek moyang kita yang berhubungan dengan karakteristik udara. Dengan adanya chart ini maka perencanaan tata udara menjadi lebih sederhana, karena tidak perlu menggunakan hitungan matematis yang rumit. Chart psikrometrik merupakan tampilan secara grafikal sifat thermodinamik udara antara lain suhu, kelembaban, enthalpi, kandungan uap air dan volume spesific. Dalam chart ini dapat langsung diketahui hubungan antara berbagai parameter udara secara cepat dan persisi, baik yang berkaitan dengan sifat fisik udara maupun sifat thermiknya.

Cara terbaik memahami psikrometrik chart adalah mengobservasi bagaimana letak dan posisi setiap garis kurva diletakkan atau dipetakan pada psikrometrik chart. Psikrometrik chart menyatakan hubungan antara suhu bola kering, suhu bola basah, suhu titik embun, kelembaban relatif, panas total (entalpi), volume speisifik, kelebaban spesifik, panas sensibel dan panas laten. Anda akan memerlukan banyak fotocopi psikrometrik chart untuk menyelesaiakan masalah-masalah pendingian dan pemanasan yang ada di buku ini.

Gambar 1.14 Tipikal pemetaan garis skala Psikrometerik chart

Definisi Istilah dan Plotting pada Chart

Berikut ini dijelaskan tujuh parameter udara terpenting yang digunakan untuk keperluan perancangan **air conditioning**. **Chart** yang digunakan sebagai acuan adalah chart psikrometirk yang disusun oleh Carrier dengan mengacu pada kondisi atmosfir normal.

Dry-bulb Temperature (DB)

DB adalah suhu udara ruang yang diperoleh melalui pengukuran dengan Slink Psikrometer pada *theremometer* dengan **bulb** kering. Suhu DB diplotkan sebagai garis vertikal yang berawal dari garis sumbu mendatar yang terletak di bagian bawah **chart**. Suhu DB ini merupakan ukuran panas sensibel. Perubahan suhu DB menunjukkan adanya perubahan panas sensibel.

Wet-bulb Temperature (WB)

WB adalah suhu udara ruang yang diperoleh melalui pengukuran dengan Slink Psikrometer pada theremometer dengan **bulb** basah. Suhu WB diplotkan sebagai

garis miring ke bawah yang berawal dari garis saturasi yang terletak di bagian samping kanan **chart**. Suhu WB ini merupakan ukuran panas total (*enthalpi*). Perubahan suhu WB menunjukkan adanya perubahan panas total.

Dew-point temperature (DP)

Suhu DP adalah suhu di mana udara mulai menunjukkan aksi pengembunan ketika didinginkan. Suhu DP ditandai sebagai titik sepanjang garis saturasi. Pada saat udara ruang mengalami saturasi (jenuh) maka besarnya suhu DB sama dengan suhu WB demikian pula suhu DP. Suhu DP merupakan ukuran dari panas laten yang diberikan oleh sistem. Adanya perubahan suhu DP menunjukkan adanya perubahan panas laten atau adanya perubahan kandungan uap air di udara.

Specific Humidity (W)

Specific humidity adalah jumlah kandungan uap air di udara yang diukur dalam satuan **grains per pound** udara. (7000 grains = 1 pound) dan diplotkan pada garis sumbu vertikal yang ada di bagian samping kanan **chart**.

Relative Humidity (% RH)

% RH merupakan perbandingan jumlah actual dan jumlah maksimal (saturasi) dari uap air yang ada pada suatu ruang atau lokasi tertentu. 100% RH berarti saturasi dan diplortkan menurut garis saturasi. Untuk ukuran yang lebih kecil diplotkan sesuai arah garis saturasi.

***Enthalpi* (H)**

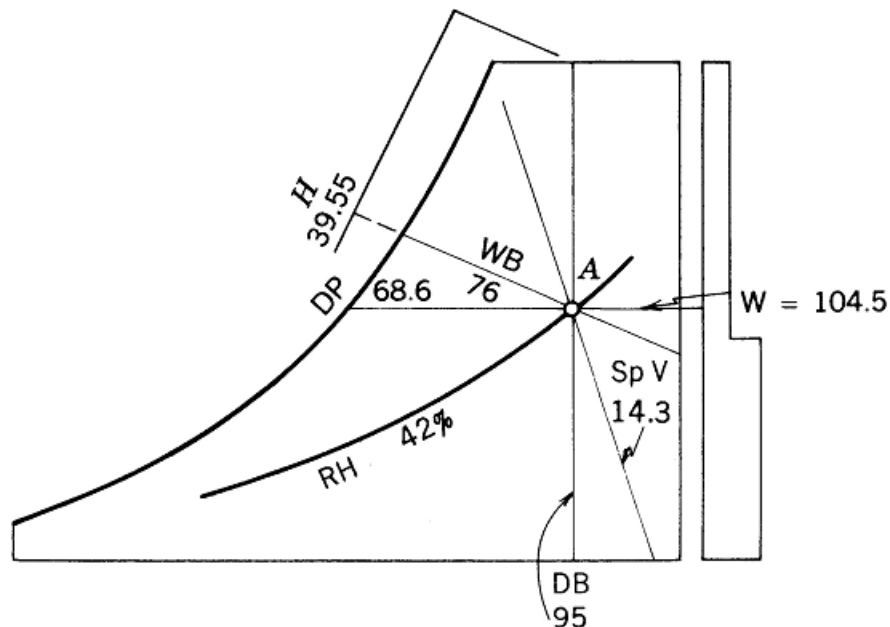
Enthalpi adalah jumlah panas total dari campuran udara dan uap aire di atas titik nol. Dinyatakan dalam satuan Btu/lb udara. Harga *enthapi* dapat diperoleh sepanjang skala di atas garis saturasi

Specific *volume* (SpV)

Specific volume atau volume spesifik adalah kebalikan dari berat jenis, dinyatakan dalam ft³/lb. Garis skalanya sama dengan garis skala bola basah (**wet bulb**)

Cara membaca Chart

Gambar 1.14 memperlihatkan suatu kondisi udara (titik P) yang parameternya di-*plot*-kan pada chart psikrometirk yang disederhanakan untuk mempermudah.

Bila ada dua parameter yang diketahui maka kedua parameter tersebut diplotkan pada **chart** sehingga ketemu titik potongnya (misalnya titik P). Kemudian dari titik potong tersebut dapat ditentukan parameter lainnya. Misalkan diketahui suhu bola kering 95°F, dan suhu bola basah 76°F. Dari kedua data ini kita dapatkan titik potong di titik P. Dengan dikethuinya titik potong ini maka data lain yang diperlukan dapat diketahui. Besarnya kelembaban relatif (RH) adalah 42%. Kelembaban psesifik (w) adalah 104,5 g/lb. Volume spesifik (SpV) adalah 14,3 ft³/lb. Suhu titik embun (DP) adalah 68,6°F. **Enthalpy** (H) adalah 39,55 Btu/lb.

Gambar 1.15 Pembacaan Psikrometrik Chart

Contoh1.8 Hasil pengukuran kondisi suatu ruangan dengan slink psychrometer memberikan data sebagai berikut:

Suhu bola kering 78^oF DB, suhu bola basah 65^oF WB. Tentukan parameter udara lainnya dengan mengunakan psikrometrik chart.

Solusi

Mengacu ke Gambar 1.16, pertama-tama tentukan titik potong antara garis 78 DB dan garis 65 DB. Titik tersebut adalah titik P. Dari titik P ikuti garis horisontal ke arah kanan, yaitu skala kelembaban spesifik w = 72 gr/lb. Ikuti garis kemebaban relatif,RH = 50%. Ikuti garis horisontal ke kiri hingga memotong garis saturasi, diperoleh suhu DP = 58^oF. Dan ikuti garis entalpi, H = 30,05 Btu/lb. Yang terakhir tentukan volume spesifik, SpV. Titik P berada diantara garis 13,5 dan 14,0, dapat diperkirakan SpV = 13,75 ft^3/kg.

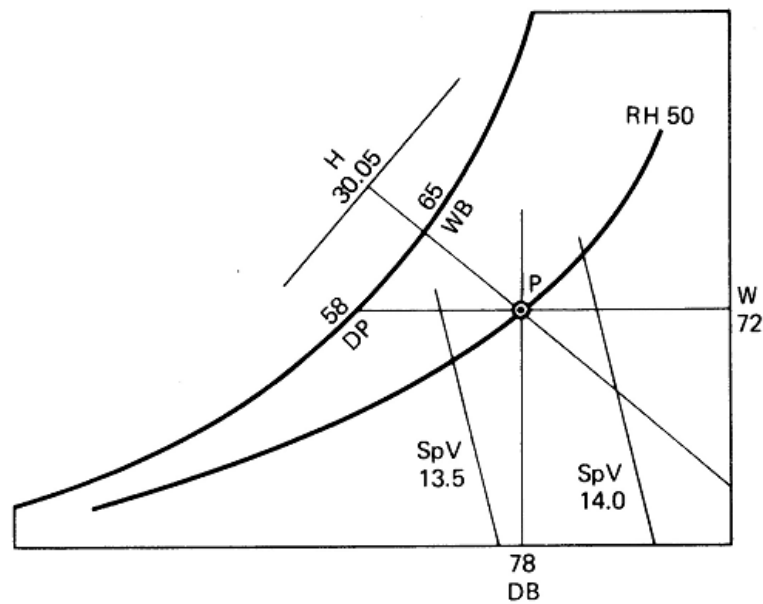
Dari hasil pemetaan kita dapatkan:

RH= 50%

W = 72gr/lb

DP = 58^oF

H = 30,05 Btu/lb

SpV = 13,75 ft^3/lb

Gambar 1.16 Hasil pemetaan pada Psikrometrik chart contoh 1.8

19. Proses Tata Udara Ruang

Sistem Tata Udara dapat terdiri dari beberapa proses pengkondisian udara, yaitu proses pemanasan (**heating**), proses pendinginan (**cooling**), proses penambahan uap air (**humidifying**), dan proses pengurangan uap air (**dehumidifying**). Pengkondisian udara akan merubah kondisi udara, dari kondisi awal menjadi kondisi akhir.

Dalam prakteknya, ada enam proses yang lazim dilaksanakan dalam sistem tata udara, yaitu:

1. Proses dengan Panas Sensibel Konstan
2. Proses dengan Panas Laten Konstan
3. Proses dengan Panas Total (entalpi) Konstan atau proses Adiabatik
4. Proses dengan Kelembaban relatif constan
5. Proses tata udara lengkap, kombinasi
6. Proses Pencampuran udara dalam kondisi berbeda

Perlu dicatat, bahwa:

1. Garis DB merupakan garis panas sensible konstan
2. Garis DP merupakan garis panas laten konstan
3. Garis WB merupakan garis entalpi (panas total) konstan

Berikut ini akan diberikan beberapa tipikal proses pengkondisian udara yang lazim dilakukan melalui ilustrasi contoh-contoh masalah. Perlu diketahui, bahwa psikrometrik chart bukan merupakan instrumen yang meiliki kepresisian tinggi. Ada kemungkinan hasil ploting-nya berbeda antara satu orang dengan orang lainnya. Tetapi dalam banyak kasus, dengan bantuan psikrometrik chart, orang dapat melakukan banyak hal, berkaitan dengan penanganan sistem refrijerasi dan tata udara.

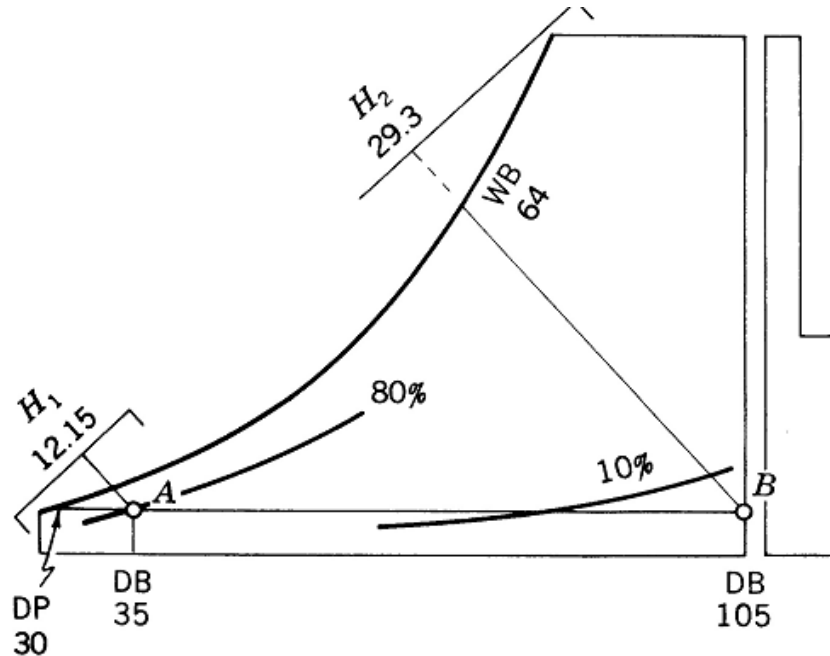
Pemanasan Udara tanpa Penambahan Uap Air

Pemanasan udara ruang tanpa menambah kandungan uap air, berarti proses pengkondisian udara ruang dengan panas laten konstan atau proses atau proses dengan kandungan uap air konstan. Dalam hal ini hanya panas sensibel yang ditambahkan ke udara ruang. Proses ini dapat berupa penggunaan pemanas ruang dengan air atau uap panas yang disalurkan melalui koil pemanas, baik dengan **blower** ataupun tanpa **blower**. Proses ini lazim disebut sebagai proses pemanasan-sensibel yang direpresentasikan dengan garis horisontal pada psikrometrik chart, karena kelembaban spesifik udara ruang tidak berubah.

Contoh 1.9 Udara ruang dengan kondisi awal 35^{o}F DB dan 80% RH dipanaskan hingga kondisi berubah menjadi 105^{o}FDB.Tentukan WB, DP, RH, dan panas total yang ditambahkan ke dalam udara ruang tersebut?

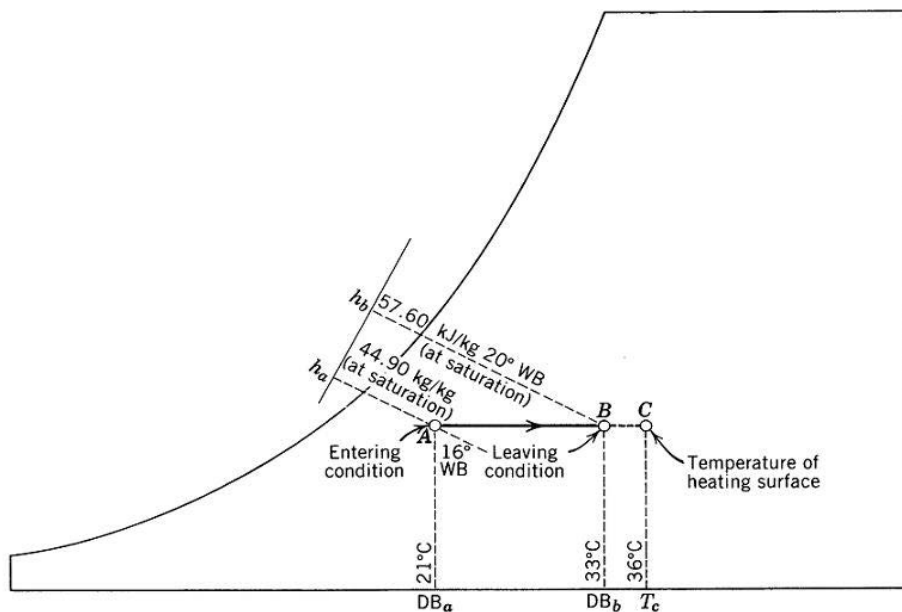
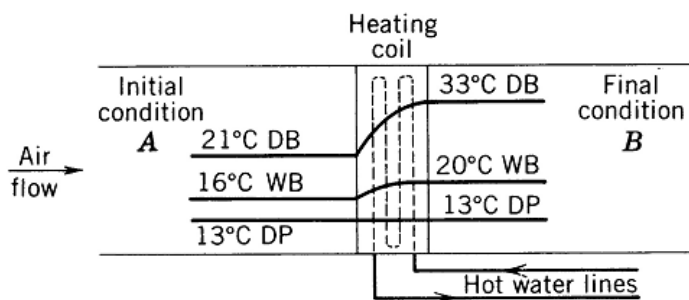
Solusi

Lihat Gambar 1.18. Suhu 35 DB di-plot pada titik A dan suhu 105 DB dipetakan pada titik B. Entalpi pada titik A 12,15 Btu/lb dan entalpi pada titik B adalah 29,3 Btu/lb. Dari titik B, diperoleh WB 64^{o}F, dan DP 30^{o}F, dan RH 8% (kira-kira). Untuk menghitung panas total yang diperlukan dalam proses pemanasan ini adalah

denganmengurangkan besaran 29,3 Btu/lb dengan 12,16 Btu/lb dan diperoleh H = 17,15 Btu/lb.

Gambar 1.17 Hasil Pemetaan pada Psikrometrik Chart Contoh 4.2

Contoh 1.10 Kondisi awal, udara yang masuk melewati koil pemanas (**heating** *Coil*), adalah °C DB, 16°C WB, melaju dengan volume rata-rata 2kg/detik. Kondisi akhir suhu udara naik menjadi 33°C DB. Petakan proses tersebut pada psikrometrik chart dan tentukan (a) suhu akhir WB, (b) panas sensibel yang dipindahkan dan (c) panas total yang dipindahkan.

Solusi:

Gambar 1.19 memperlihatkan hasil pemetaan prosesnya, Gambar 1.20 merupakan sketsa proses pemanasan sensibel.

Gambar 1.18 Pemetaan Proses Pemanasan Sensibel

Gambar 1.19 Sketsa Proses Pemanasan Sensibel

Dari hasil pemetaan prosesnya (Gambar 3.9), dapat diketahui

(a) Kondisi suhu akhir WB adalah 20°C

(b) Karena proses pemanasan sensibel maka besaran panas sensibel dan panas total sama, dan dapat ditentukan dengan dua cara, yaitu

$$Q_S = (2 \text{ kg/det})(1 \text{ kJ/kg }^oC)(33\text{-}21)^oC = 24 \text{ kJ/det} = 24 \text{ kW}$$

Dari **chart** diketahui, besarnya panas sensibel yang dipindahkan per kilogram adalah 57,6 – 4,9 = 12,7 kJ/kg, Jadi untuk 2 kg/s udara, adalah

QS = 2 kg/det x 12,7 kJ/kg = 25,4 kJ/s = 25,4 kW.

Karena adanya deviasi entalpi, maka hasil kedua cara ada sedikit perbedaan. Tetapi bila deviasi entapi ikut diperhitungkan maka perhitungan kedua cara tersebut akan mendekati sama.

QS = 2 Kg/det x {(57,6 – 0,45) – (4,9 – 0,14)} kJ/kg

= 24,78 kJ/det = 24,78 kW

Pemanasan dengan Penambahan Uap Air

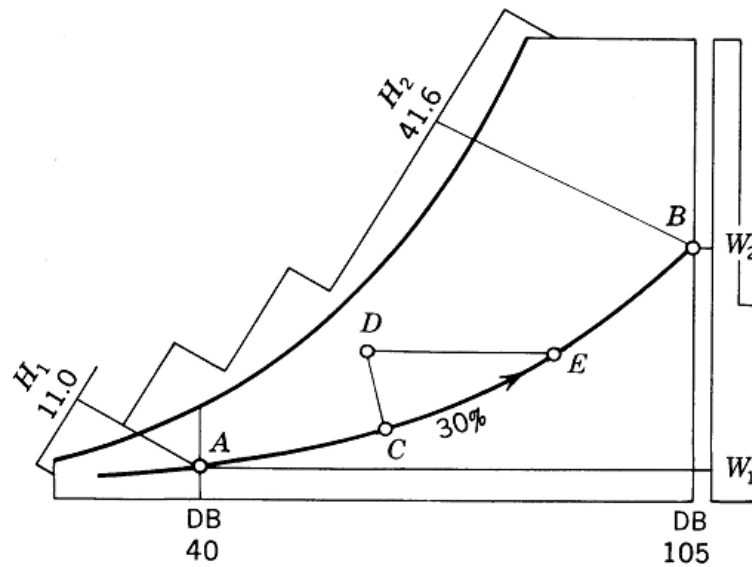
Pada musim dingin didaerah empat musim, disamping suhu udara rendah kelembaban absolut atau kandungan uap air di udara juga rendah. Sehingga membutuhkan sistem pengkondisian udara, untuk menaikkan suhu dan kelembaban udara pada tingkat yang nyaman. Peralatan Pemanas (**heater**) yang bagus dilengkapi dengan piranti penambah kelembaban udara (**humidifier**). Pada peralatan itu memungkinkan menambah uap air secukupnya ke udara ruang untuk mempertahankan kelembaban relatif pada level 20 – 40% RH.

Contoh 1.11 Udara ruang 40^{o}F DB dan kelembaban relatif 30%RH, dipanaskan hingga mencapai 105^{o}F DB dan ditambahkan uap air untuk mempertahankan kelembaban relatif tetap berada pada level 30% RH. Tentukan besaran panas yang ditambahkan ke udara **per pound** dan volume uap air yang harus ditambahkan **per pound** udara kering.

Solusi:

Mengacu pada Gambar 3.10. dengan memetakan kondisi awal udara ruang pada **chart**, diperoleh titik A, dengan H1=11,0 Btu/lb; w1=11 gr/lb. Pemetaan kondisi akhir dengan mengikuti garis 30% RH, diperoleh titik B, H2=41,6 Btu/lb; w2=102 gr/lb.

JadiPanas yang ditambahkan = 41,6 – 11 = 30, Btu/lb

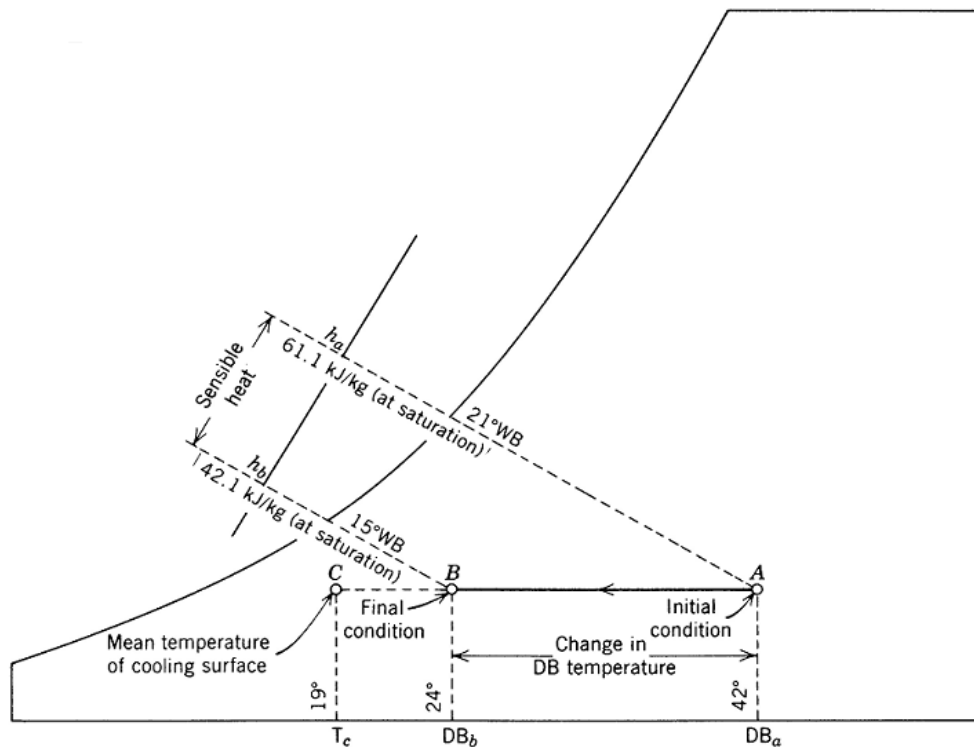
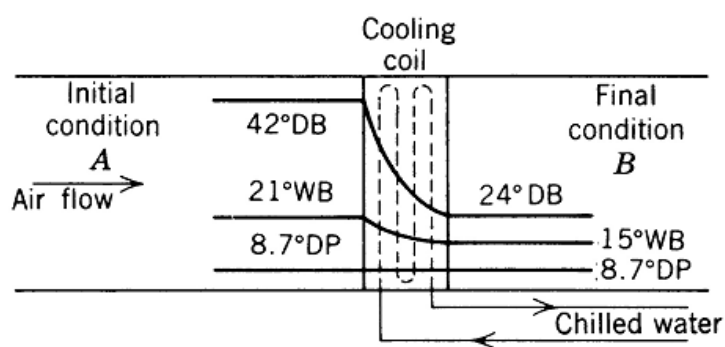
Uap air yang ditambahkan = 102 – 11 = 91 gr/lb.

Ganbar 1.20 Hasil Pemetaan Pada *psikrometrik chart* Contoh 4.3

Pendinginan tanpa Pengurangan Uap Air

Proses pendinginan tanpa pengurangan uap air disebut pross pendinginan sensibel. Proses ini dapat dilakukan dengan menggunakan koil pendingin yang suhunya di atas suhu titik embun udara DP, tetapi di bawah suhu bola kering DB.

Contoh 1.12 Udara mempunyai suhu awal 42°C DB dan 21°C WB, mengalir melalui koil pendingin dengan jumlah 2 kg/detik. Suhu akhir menjadi 24oC DB. Bila suhu koil pendingin 19°C, tentukan panas sensibel yang ditransfer

Solusi :

Gambar 1.22 adalah hasil pemetaan prosesnya pada **chart** dan gambar 1.23 adalah sketsa proses pendingian sensibel

Gambar 1.21 Sketsa Proses Pendinginan Sensibel

Gambar 1.22 Pemetaan proses pendinginan sensibel

Panas sensibel yang ditransfer adalah:

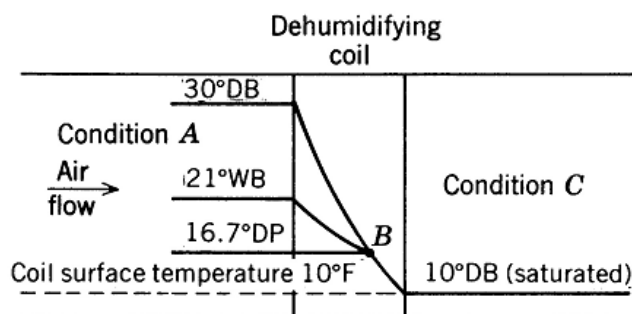
QS = (2 kg/detik)(1 kJ/kg.^{o}C)(42-24)^{o}C = 36 kJ/det.

Pendinginan dengan Pengurangan Uap Air

Pendinginan dan proses pengurangankandungan uap air berlangsung secara simultan dalam suatu proses pengkondisian udara, ketika udara yang akan dikondisi disalurkan lewat koil pendingian yang mempunyai suhu permukaan di bawah suhu titik embun (DP) udara.

Contoh 1.13 4 kilogram udara, suhu awal 30°C DB dan 21°C WB, disalurkan ke koil pendingin, di mana suhu efektif permukaan koil adalh 10°C.Anggaplah semua bagian udara mengalami kontak langsung dengan permukaan koil sehingga udara yang meninggalkan koil mengalami saturasi pada suhu permukaan koil. Petakan proses tersebut pada **chart**, dan tentukan; (a) Panas total yang diambil dari udara per kilogram udara kering, (b) panas sensibel yang diambildari udara kering per kilogram, (c) panas laten yang diambil dari udara kerin per kilogram, (d) masa uap air di udara yang mengembun dalamkilogram per detik.

***Solusi*:**

Gambar 3.13 adalah sketsa proses pendingian dengan pengurangan uap air, dan gambar 1.24 adalah pemetaan prosesnya pada **chart**.

Gambar 1.23 Sketsa Proses Pendingian dan pengurangan uap air

Berdasarakan anggapan awal bahwa semua bagian udara dapat kontak langsung dengan perlukaan koil, kemudian didinginkan secara langsung dan progresif dari kondisi awal menuju ke kondisi akhir.

(a) Panas total QT adalah

QT = (1) kg x (60,78 – 29,35) kJ/kg = 31,43 kJ/kg

(b) Panas sensible QS adalah

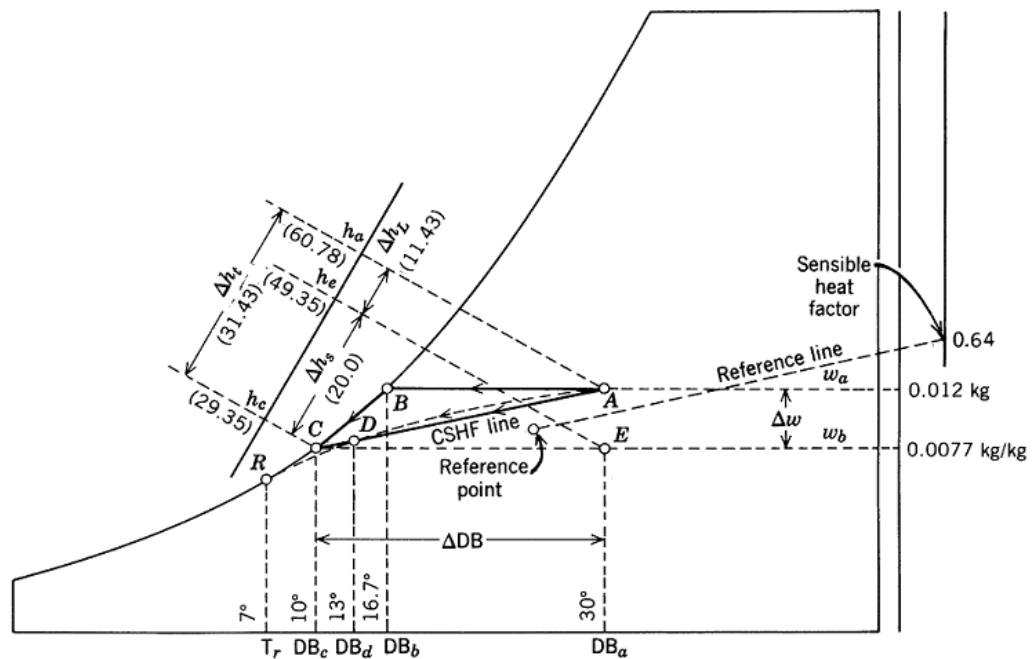
QS = (1) kg x (1) kJ/kg.oC x (30-10)oC = 20 kJ/kg

(c) Panas laten QL adalah

QL = 31,43 kJ/kg – 20 kJ/kg = 11,43kJ/kg

(d) masa uap air yang mengembun adalah

M = (4) kg/det x (0,012 – 0,0077) kg/kg = 0,0172 kg/det

Atau 17,2 gr/detik

Gambar 1.24 Pemetaan proses pendingian dengan pengurangan uap air

Pencampuran Udara

Salah satu proses sering dijumpai dalam proses psikrometrik adalah percampuran dua atau lebih aliran udara yang mempunyai kondisi berbeda. Dalam kasus ini, kondisi akhir campuran udara ini ditentukan oleh keseimbangan masa-energi. Sebagai contoh, perhatikan Gambar 3.15. Sejumlah udara, satu dengan kondisi A dan satu lagi dengan kondisi B, dicampur sehingga kondisiberubah menjadi C.

Sudah dapat dipastikan, dalam percampuran udara ini maka masa total yang dimiliki oleh kondisi C, yaitu percampuran kondisi A dan kondisi B,adalah mc = ma+ mb, demikian juga entalpinya, Hc = Ha+Hb, dan (mc)(wc) = (ma)(wa) + (mb)(wb).

Panas sensibel pada setiap kondisi, adalah

HSc = (mc)(cp)(Tc)

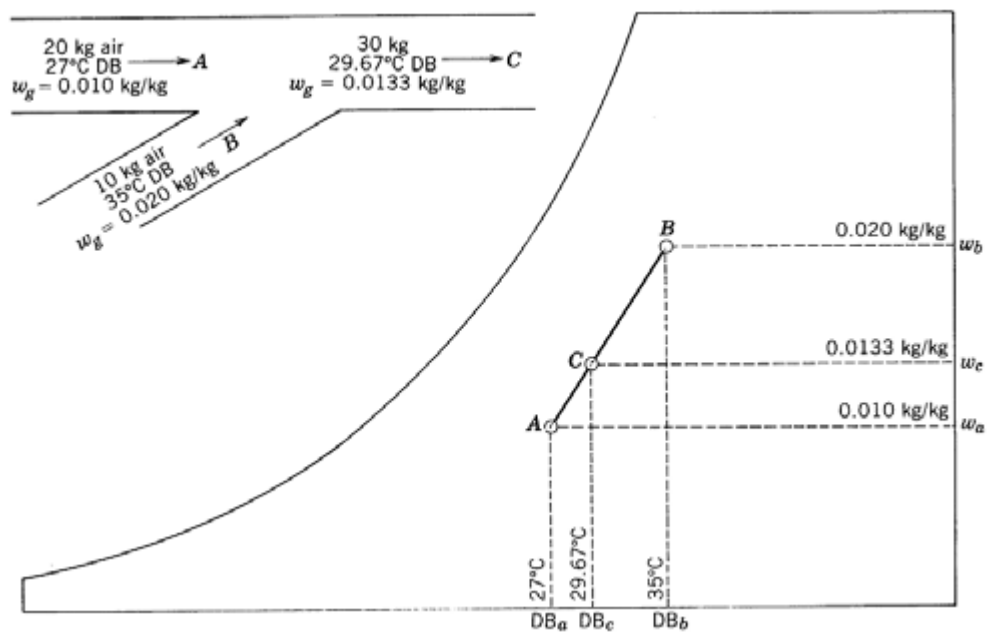
HSa = (ma)(cp)(Ta)

HSb = (mb)(cp)(Tb)

Di dapatkan,

(mc)(cp)(Tc) = (ma)(cp)(Ta) + (mb)(cp)(Tb)

Jadi:

$$Tc = \frac{(ma)(Ta) + (mb)(Tb)}{mc} \quad \text{atau} \quad wc = \frac{(ma)(wa) + (mb)(wb)}{mc}$$

Gambar 1.25 Ilustrasi Percampuran Udara

Contoh 1.16. Dua puluh kilogram udara, 27°C DB mempunyai ratio kelebaban 0,010 kg/kg dicampur dengan sepuluh udara lainnya, 35°C DB yang memiliki ratio kelembaban 0,020 kg/kg. Tentukan kondisi akhir hasil percampuran udara tersebut.

Solusi:

$$Tc = \frac{(10)kg(35)^o C + (20)kg(27)^o C}{(20+10)kg} = 29{,}67^o C$$

$$wc = \frac{(10)kg(0{,}020)kg/kg + (20)kg(0{,}010)kg/kg}{(20+10)kg} = 0{,}0133 \text{ kg/kg}$$

Permasalahan

1. Tentukan besarnya suhu titik embun, suhu bola basah dan kandungan uap air nya bila diketahui Suhu bola kering di suatu ruang : 30 derajad dan kelembabannya 60% RH.

2. Tentukan besarnya suhu titik embun, suhu bola basah dan kandungan uap air nya bila diketahui Suhu bola kering di suatu ruang : 30 derajad dan kelembabannya 90% RH

3. Tentukan besarnya kandungan uap air dalam gr/kg pada suatu ruang yang mempunyai suhu Suhu bola kering di suatu ruang : 30 derajad dan kelembabannya 60% RH.

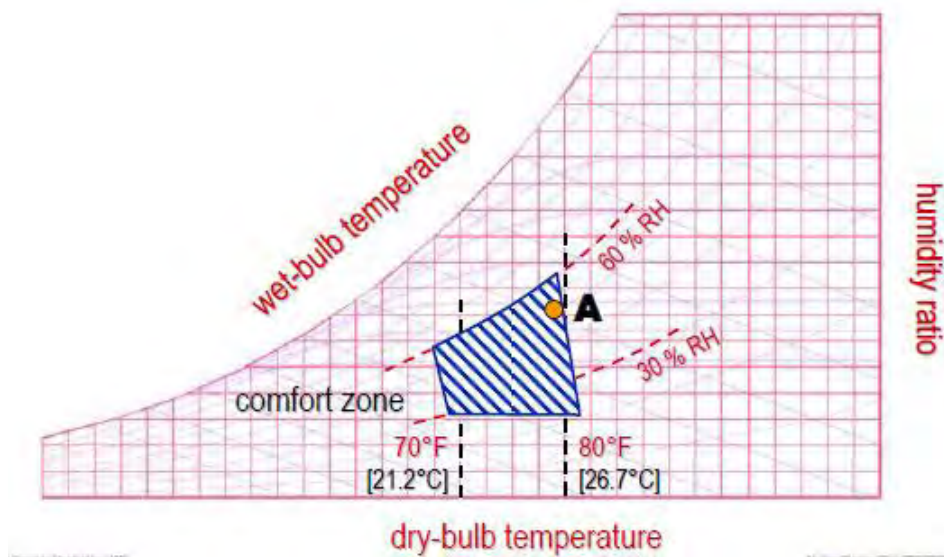
4. Tentukan besarnya kandungan uap air dalam **grain**/kg pada suatu ruang yang mempunyai suhu Suhu bola kering di suatu ruang : 30 derajad dan kelembabannya 90% RH

5. Suatu ruang mempunyai data sebagai berikut : suhu bola kering 83 Db dan suhu bola basah 60 WB. Tentukan : (a) **Enthalphy**, (b) Ratio Humiditas, (c) Suhu titik embun, (d) kelembaban relatif (e) Derajad saturasi

20. Operasi Kenyamanan Kerja

Operasi sistem tata udara untuk memberikan kenyamanan bagi tubuh agar dapat meningkatkan kinerja diperoleh dengan mengatur suhu dan kelembaban ruang kerja sehingga mencapai zona kenyamanan tubuh. Berikut, adalah faktor yang dapat berpengaruh terhadap kenyamanan tubuh:

- *Dry-bulb temperature*
- *Humidity*
- *Air movement*
- *Fresh air*
- *Clean air*
- *Noise level*
- *Adequate lighting*
- *Proper furniture and*
- *work surfaces*

Gambar 1.27 memperlihatkan zona kenyamanan tubuh yang dapt dicapai melalui sistam tata udara.

Gambar 1.26Zona Kenyamanan Tubuh

Permasalahan

1. Tentukan besarnya suhu titik embun, suhu bola basah dan kandungan uap air nya bila diketahui Suhu bola kering di suatu ruang: 30 derajad dan kelembabannya 60% RH.

2. Tentukan besarnya suhu titik embun, suhu bola basah dan kandungan uap air nya bila diketahui Suhu bola kering di suatu ruang: 30 derajad dan kelembabannya 90% RH

3. Tentukan besarnya kandungan uap air dalam gr/kg pada suatu ruang yang mempunyai suhu Suhu bola kering di suatu ruang: 30 derajad dan kelembabannya 60% RH.

4. Tentukan besarnya kandungan uap air dalam grain/kg pada suatu ruang yang mempunyai suhu Suhu bola kering di suatu ruang: 30 derajad dan kelembabannya 90% RH

5. Suatu ruang mempunyai data sebagai berikut : suhu bola kering 83 Db dan suhu bola basah 60 WB. Tentukan: (a) Enthalphy, (b) Ratio Humiditas, (c) Suhu titik embun, (d) kelembaban relatif (e) Derajad saturasi

Tugas Praktek

Mengukur Kondisi Ruang

Alat/Bahan : Slink Psikrometer dan Chart Psikrometrik

Tugas :

Gunakan Slink Psikrometer dan Chart Psikrometrik untuk menentukan data kondisi ruang meliputi: DBT, WBT, DPT, %RH dan MC, pada saat ruangan belum dikondisi dan Setelah ruangannya dikondisikan dengan room AC. Lakukan Eksperimen ini untuk tiga ruang yang berbeda. Presentasikan hasilnya di kelas.

Data Pengamatan Sebelum Di Kondisi

DBT	WBT	%RH	MC	DPT
1.				
2.				
3.				

Data Pengamatan Setelah Di Kondisi

DBT	WBT	%RH	MC	DPT
1.				
2.				
3.				

Hasil Pemeriksaan dan Pembahasanr:

………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………

…………………………………………………………………………………………
…………………………………………………………………………………………
……………………………………………………………………………….................
....
....
....

B. Kegiatan Belajar 2

Menguraikan Fungsi dan Komponen Unit Tata Udara Domestik

Seperti halnya sistem refrigerasi, ada juga masalah yang dihadapi oleh dunia tata udara, antara lain perencanaan atau desain, pemasangan atau instalasi, dan pemeliharaan. Aplikasi tata udara komersial telah merambah di banyak bidang usaha, antara lain pasar *ritel*, restoran, hotel dan industri lainnya yang berkaitan dengan kenyamanan hunian dan kenyamanan kerja. Sesuai dengan fungsinya, ada banyak jenis dan tipe yang tersedia di pasaran untuk memenuhi kebutuhan domestik, misalnya sistem paket, sistem split, sistem portable dan sistem free standing air conditioner.

Tugas 2.1: Kenyamanan Hunian

Banyak akal dan rekayasa yang telah dibuat oleh manusia ciptaan Tuhan Yang Maha Kuasa, untuk meningkatkan kenyamanan dalam menjalani kehidupannya, khususnya upaya yang dilakukan mereka dalam rangka kenyamanan hunian. Terkait dengan upaya memperoleh kenyamanan hunian yang dilakukan oleh nenek moyang kita, coba kalian uraikan dengan lebih rinci cara-cara memperoleh kenyamanan hunian baik yang tradisional tanpa menggunakan peralatan khusus dan yang modern dengan menggunakan peralatan tertentu seperti Room AC yang ada di rumah tangga. Paparan kalian harus mencakupi proses cooling, heating, dan ventilating. Untuk itu, lakukan pengamatan secara berkelompok baik melalui pembacaan buku atau literatur

atau melalui wawancara dengan orangtua dan saudara-saudara kalian, atau gunakan cara lain yang menurut kalian dapat membantu mendapatkan informasi yang lebih akurat. Setelah itu diskusikan dalam kelompok kalian masing-masing, bagaimana membuat laporan secara tertulis yang memenuhi persyaratan karya tulis ilmiah.

1. Komponen Unit Tata Udara Domestik

Unit tata udara domestik atauresedintal air conditioner yang beredar di Indonesia, merupakan peralatan rumah tangga yang digunakan untuk keperluan kenyamanan tubuh melalui proses pendinginan. Di pasaran tersedia banyak tipe unit tata udara untuk memenuhi kebutuhan konsumen. Gambar 2.1 memperlihatkan berbagai jenis unit tata udara untuk keperluan domestik.

Gambar 2.1 Unit Tata Udara Domestik

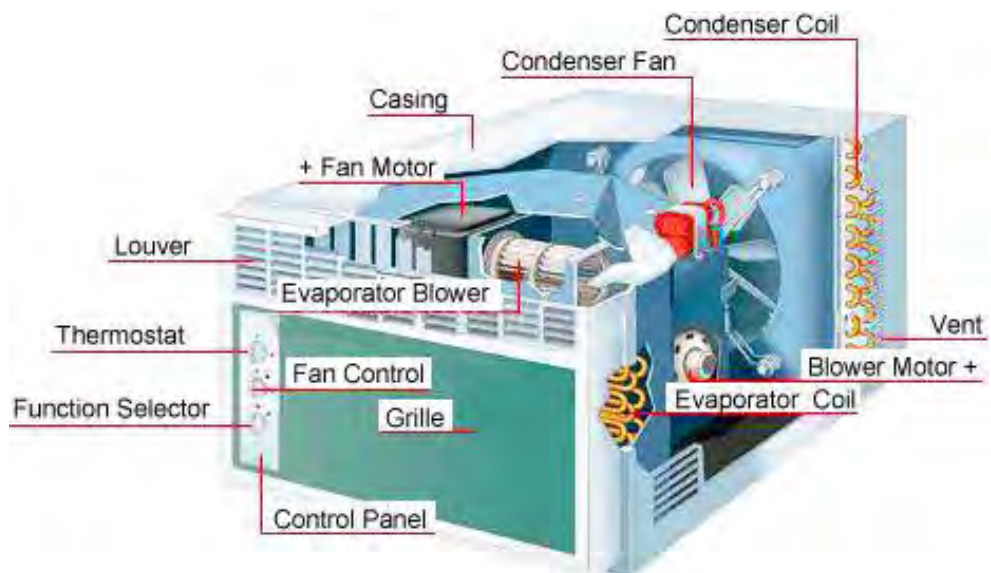
Dilihat dari cara pemasangan instalasinya, unit tata udara domestik diklasifikasikan dalam dua tipe, yaitu stationer dan portable. Gambar 2.2 memperlihatkan perbedaannya.

Gambar 2.2 Unit Tata Udara Stationer

Dan dilihat dari konfigurasi komponen utamanya, dibedakan menjadi dua, yaitu sistem paket dan sistem split. Pada unit paket semua komponen utama terletak dalam satu paket *kontainer* yang *kompak*, misalnya AC Window. Pada unit split, komponen utama terbagi dalam dua kontainer, yaitu unit *in door* yang terdiri dari fan dan koil evaporator, unit *out door* yang terdiri dari kompresor, kondenser, dan pipa kapiler.

Gambar 2.3 Unit Paket dan Unit Split

Dilihat dari cara penempatan unit *in door*, AC split dapat dibedakan menjadi 3 jenis, yaitu wall unit yakni pemasangannya di dinding, ceiling unit yakni pemasangan di langitla-ngit, dan free standing, ditempatkan di lantai. Gambar 2.4 memperlihatkan tipikal unitnya.

Gambar 2.4 Wall Unit, Ceiling Unit dan Free Standing Unit

Gambar 2.5 Konfigurasi Komponen AC Window

Tugas 2.2 Mendeskripsikan Spesifikasi Unit AC Window dan AC Split

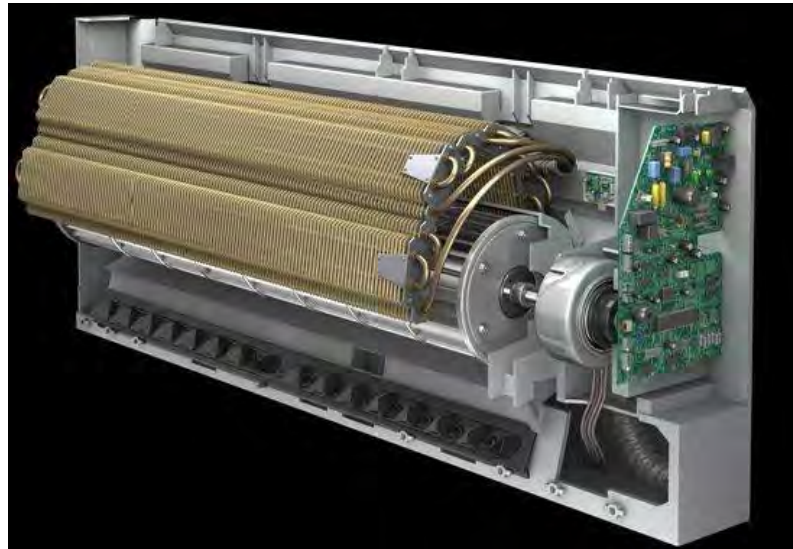
Dapatkan unit AC window dan AC split yang ada di lingkungan sekolah kalian. Tuliskan spesifikasi kedua unit AC tersebut secara lengkap. Presentasikan hasil kerja kalian di kelas.

Tugas 2.3. Mengidentifikasi Komponen Utama Unit AC Window.

Buka tutup (*casing*) unit AC Window yang ada di sekolah kalian. Kemudian lepas seluruh komponen listrik yang ada pada unit AC tersebut, sebelumnya kalian catat

dahulu konfigurasi pemasangannya dengan mengambil gambar-gambar dengan kamera sehingga kalian dapat merakitnya kembali seperti semula. Setelah seluruh komponen listrik dilepas, maka hanya tinggal komponen utama unit yang terdiri dari kompresor, kondensor, pipa kapiler, filter dan evaporator. Ambil gambar konfigurasinya dengan kamera, dari berbagai sudut pandang sehingga kalian mendapatkan data visual yang lengkap. Rakit kembali rangkaian kelistrikannya seperti semula. Buat bahan tayang dengan power point, tentang konfigurasi komponen utama AC window.

Tugas 2.4, Mengidentifikasi Komponen Utama Unit *Outdoot* dan *Indoor* AC Split.
Tugas ini sama seperti Tugas 2.3 tetapi dengan obyek berbeda yaitu *AC Split.AC Split* terdiri dari unit *indoor* dan unit *outdoor*. Kalian harus mengidentifikasi kedua unit tersebut. Setelah selesai presentasikan hasil kerja kalian di kelas.

Gambar 2.6Konfigurasi Komponen Unit Out Door AC Split

Gambar 2.7 Komponen Unit In Door AC Split

2. Terminologi dan Spesifikasi

BTU: singkatan dari The British Thermal Unit (BTU) merupakan satuan pengukuran energi yang berlaku secara international. Satu BTU dinyatakan sebagai jumlah panas yang diperlukan untuk menaikkan air sebanyak satu pound sebesar satu derajat fahrenheit.Dalam jargon dunia tata dara (air conditioner atau disingkat dengan AC), istilah BTU mengukur jumlah panas suatu unit room AC yang dapat dipindahan dari satu ruang. Jika rentang BTU naik, maka ukuran room AC, berat dan biaya pemasangan juga naik. Room AC biasanya berkapasitas sekitar 5.000 hingga 24.000 BTU. Menyesuaikan kebutuhan BTU dengan ukuran ruang menjadi sangat penting. Ruang yang dikondisikan udaranya tidak dapat mencapai kondisi nyaman hunian jika rentang BTU terlalu rendah atau terlalu tinggi untuk suatu ruang tertentu.

EER: singkatan dari Energy Efficiency Ratio (EER) dihitung berdasarkan perbandingan BTU dengan kerja kompresor dalam watt. Semakin besar nilai EER semakin efisien unit tata udara yang dipasang dalam suatu ruang. Semakin tinggi nilai EER-nya semakin mahal unit AC, sehingga menetapkan harga EER yang paling hemat energi menjadi satu hal yang paling penting. Rating EER berkisar antara 8 sampai 11,5.

Thermostat: heat-sensing thermostat mengatur suhu yang dikeluarkan oleh sebuah unit room-AC. Pada prinsipnya thermostat dapat berupa piranti kontrol elektromekanik, elektronik atau terprogram. *They can be programmable or manual*. *Suatu piranti adjustable thermostat* dikombinasikan denganvariable-speed fan merupakan mesin pendinginan yang efektif.. Unit room-AC tersedia dipasaran dengan remote control, 24-hour delay timers dan digital temperature readout.

Filter: Membersihkan udara agar bebas kotoran dan polutan. Filter terpasang pada koil eveporator, mudah dilepaskan dan mudah dibersihkan.

Fan: untuk mendistribusikan atau mensirkulasikan udara. Suatu variable-speed fan dikombinasikan dengan adjustable thermostat merupakan mesin pendingin yang efektif.
Chassis: merupakan rangka yang menopang komponen utama unit room-AC

Spesifikasi AC Split

Kapasitas : 0.5 PK

Refrijeran R410A

Daya Listrik: 1 Phase / 220-240 V / 50-60 H/ 250-320 Watt

Kapasitas Pendinginan : 3.900-5.000 Btu/ H

Ukuran : *indoor* (283 x 770 x 198) *outdoor* (550 x 658 x 275) mm

Pipa refrigerant : ¼ ” X 3/ 8”

Kabel Listrik : 3 X 1.5 mm

Pipa pembuangan air : ½ ”

Kapasitas : 0.75 PK

Refrijeran : R410A

Daya Listrik : 1 Phase / 220-240 V / 50-60 Hz / 250-530

Kapasitas Pendinginan : 3.900-7.000 Btu/ H

Ukuran : indoor (283 x 770 x 198) outdoor (550 x 658 x 275) mm

Kabel Listrik : 3 X 1.5 mm

Pipa pembuangan air : ½ ”

Kapasitas : 2.5 PK

Refrijeran : R22

Daya Listrik : 1 Phase / 220-240 V / 50-60 Hz / 440-2.600 Watt

Kapasitas Pendinginan : 5.100-22.200 Btu/ H

Ukuran : indoor (290 x 1.050 x 250) outdoor (735 x 825 x 300) mm

Pipa refrigerant : ¼ ” X 5/ 8”

Kabel control : 3 X 2.5 mm

Pipa pembuangan air : ½ ”

Kapasitas : 2.5 PK

Refrijeran : R410a

Daya Listrik : 1 Phase / 220-240 V / 50-60 Hz / 440-2.400 Watt

Kapasitas Pendinginan : 5.800-22.900 Btu/ H

Ukuran : indoor (290 x 1.050 x 238) outdoor (735 x 825 x 300) mm

Pipa refrigerant : ¼ ” X 5/ 8”

Kabel control : 3 X 2.5 mm

Pipa pembuangan air : ½ ”

Kapasitas : 2 PK

Refrijeran : R22

Daya Listrik : 1 Phase / 220-240 V / 50-60 Hz / 420-2.300 Watt

Kapasitas Pendinginan : 5.100-20.100 Btu/ H

Ukuran : indoor (290 x 1.050 x 250) outdoor (735 x 825 x 300) mm

Pipa refrigerant : ¼ ” X 5/ 8”

Kabel control : 3 X 2.5 mm

Pipa pembuangan air : ½ ”

Kapasitas : 2 PK

Refrijeran : R410a

Daya Listrik : 1 Phase / 220-240 V / 50-60 Hz / 440-2.080 Watt

Kapasitas Pendinginan : 5.800-20.500 Btu/ H

Ukuran : indoor (290 x 1.050 x 238) outdoor (735 x 825 x 300) mm

Pipa refrigerant : ¼ ” X 5/ 8”

Kabel control : 3 X 2.5 mm

Pipa pembuangan air : ½ ”

Kapasitas : 1.5 PK

Refrijeran : R22

Daya Listrik : 1 Phase / 220-240 V / 50-60 Hz / 300-1.430 Watt

Kapasitas Pendinginan : 4.750-13.650 Btu/ H

Ukuran : indoor (283 x800 x 195) outdoor (550x 765 x 285) mm

Pipa refrigerant : ¼ ” X ½ ”

Kabel control : 3 X 2.5 mm

Pipa pembuangan air : ½ ”

Kapasitas : 1.5 PK

Refrijeran : R410a

Daya Listrik : 1 Phase / 220-240 V / 50-60 Hz / 300-1.200 Watt

Kapasitas Pendinginan : 4.100-12.950 Btu/ H

Ukuran : indoor (283 x 800 x 195) outdoor (550 x 765 x 285) mm

Pipa refrigerant : ¼ ” X ½ ”

Kabel control : 3 X 2.5 mm

Pipa pembuangan air : ½ ”

Kapasitas : 1 PK

Refrijeran : R22

Daya Listrik : 1 Phase / 220-240 V / 50-60 Hz / 295-1.100 Watt

Kapasitas Pendinginan : 4.050-10.900 Btu/ H

Ukuran : indoor (283 x 800 x 195) outdoor (550 x 765 x 285) mm

Pipa refrigerant : ¼ ” X ½ ”

Kabel control : 3 X 1.5 mm

Pipa pembuangan air : ½ ”

Kapasitas : 1 PK

Refrijeran : R410a

Daya Listrik : 1 Phase / 220-240 V / 50-60 Hz / 300-800 Watt

Kapasitas Pendinginan : 4.100-10.200 Btu/ H

Ukuran : indoor (283 x 800 x 195) outdoor (550 x 765 x 285) mm

Pipa refrigerant : ¼ ” X 3/8”

Kabel control : 3 X 1.5 mm

Pipa pembuangan air : ½ ”

Kapasitas : 3 PK

Refrijeran : R410a

Daya Listrik : 1 Phase / 220-240 V / 50-60 Hz / 540-3.176 Watt

Kapasitas Pendinginan : 7.200-25.900 Btu/ H

Ukuran : indoor (290 x 1.050 x 238) outdoor (735 x 825 x 300) mm

Pipa refrigerant : ¼ ” X 5/ 8”

Kabel control : 3 X 2.5 mm

Pipa pembuangan air : ½ ”

Electricity : 1 Phase / 220-240 V / 50-60 Hz / 7.200-25.900 Btu/ H / 540-3.176 Watt

Dimension : (H x W x D) indoor (290 x 1.050 x 250) outdoor (735 x 825 x 300) mm

Kapasitas : 3 PK

Refrijeran : R410a

Daya Listrik : 1 Phase / 220-240 V / 50-60 Hz / 440-2.400 Watt

Kapasitas Pendinginan : 5.800-22.900 Btu/ H

Ukuran : indoor (290 x 1.050 x 238) outdoor (735 x 825 x 300) mm

Pipa refrigerant : ¼ ” X 5/ 8”

Kabel control : 3 X 2.5 mm

Pipa pembuangan air : ½ ”

Apakah Kelebihan AC Inverter ?

Apa yang terlintas ketika kalian memikirkan produk customer appliances yang menggunakan teknologi inverter? Air conditioner mungkin adalah jawaban yang paling banyak dikemukakan. Namun, teknologi inverter juga telah banyak digunakan secara luas di produk-produk lain, termasuk mesin cuci dan refrigerator.

Selain penggunaannya dalam produk customer appliances, teknologi inverter juga digunakan pada bermacam-macam produk yang menggunakan motor, seperti lift, robot, power steering listrik dan sepeda listrik. Selain itu, teknologi ini juga digunakan dalam produk non-motor seperti perangkat memasak elektromagnetik dan lampu neon. Berikut akan dibahas sedikit mengenai penggunaan teknologi inverter pada air conditioner.

Perbandingan Antara AC Inverter Dengan AC Tanpa Inverter

Air conditioner adalah salah satu peralatan rumah tangga yang paling banyak memakan listrik. Maka jika Anda memutuskan akan memasang air conditioner di rumah, sudah sewajarnya Anda akan memilih AC hemat listrik. Disinilah peran teknologi inverter dimanfaatkan. Untuk menjelaskannya, mari kita gunakan setting suhu sebagai contoh.

Jika di siang hari yang panas kalian memilih suhu 25° C pada AC tanpa inverter, air conditioner otomatis akan mati sendiri ketika suhu ruangan sudah dibawah 25° C, dan akan hidup lagi pada saat suhu naik diatas 25° C. Hal ini akan terus berulang dan akan menyebabkan banyak energi listrik (uang?) yang terbuang sia-sia. Selain itu gangguan oleh adanya suara air conditioner yang hidup dan mati

berulang-ulang dapat dihindari. Pada AC inverter, dimungkinkan untuk menjaga ruangan pada suhu tertentu tanpa air conditioner harus hidup dan mati berulang-ulang.

Pada air conditioner, teknologi inverter terintegrasi di dalam unit outdoor. Compressor ACdidalam unit outdoor mengubah tingkat kompresi refrigerant, maka dalam proses tersebut dimungkinkanlah pengaturan suhu. Pada kenyataanya, pengaturan ini diperoleh dari pengubahan kecepatan motor didalam compressor AC. Karena kecepatan motor dapat dikontrol dengan halus pada berbagai tingkat, inverter control memungkinkan air conditioner tidak hanya hemat listrik, namun juga mampu melakukan pengaturan suhu yang lebih baik. Fungsi kunci dari inverter ini terletak pada komponen yang disebut microcontroller.

Beberapa keuntungan yang Anda dapatkan pada AC inverter:

- Waktu yang lebih cepat untuk mencapai suhu ruangan yang kita inginkan.
- "Tarikan" pertama pada listrik 1/3 lebih rendah dibandingkan AC yang tidak menggunakan teknologi inverter. Lebih hemat energi dan uang karena teknologi ini menggunakan sumber daya yang 30%
- lebih kecil dibandingkan AC biasa. Beberapa merk air conditioner bahkan mengklaim
- dapat menghemat listrik hingga 60% dibanding AC tanpa inverter.
- Dapat menghindari beban yang berlebihan pada saat AC dijalankan.
- Fluktuasi temperatur hampir tidak terjadi (lihat gambar).

Kebutuhan BTU

Berikut ini diberikan tabel ukuran ruang dan kebutuhan BTU yang harus disediakan untuk menghasilkan pendinginan yang efektif.

Tabel 1.1 Kebutuhan BTU

Area to Be Cooled (square feet)	**Capacity Needed (BTU per hour)**
100 to 150	5,000
150 to 250	6,000
250 to 300	7,000
300 to 350	8,000

350 to 400	9,000
400 to 450	10,000
450 to 500	12,000
500 to 700	14,000
700 to 1,000	18,000
1,000 to 1,200	21,000
1,200 to 1,400	23,000
1,400 to 1,500	24,000

C. Kegiatan Belajar 3

Menguraikan Refrijeran dan Oli Lubrikan untuk Sistem Tata Udara

Protokol Montreal yang dicanangkan pada tahun 1987 merupakan sebuah pakta perjanjian international tentang lingkungan, yang telah menetapkan persyaratan untuk mengurangi konsumsi bahan perusak ozon yang dikandung dalam *refrigerant* dari keluarga CFC (*chlorofluorocarbons*). Persyaratan tersebut kemudian dimodifikasi, memprakarsasi pengurangan konsumsi CFC pada tahun 1996 pada seluruh negara berkembang. Pada tahun 1992 protokol Montreal diamandemen untuk menetapkan jadwal pengurangan konsumsi HCFC (*hydrochlorofluorocarbon*). HCFC memiliki potensi perusakan ozon lebih kecil dibandingkan dengan CFC, tetapi tetap mengandung senyawa klorin yang merusak ozon.

HCFC-22 (yang dikenal dengan R-22) merupakan *refrigerant* yang banyak digunakan pada sistem tata udara domestik selama lebih dari empat dekade. Sayangnya, untuk isu lingkungan, pelepasan R-22 ke lingkungan, karena bocor atau karena keperluan *service*, memiliki kontribusi perusakan ozon. Di samping itu, R-22 sebagai salah satu *greenhouse gas* dan produksi R-22 menghasilkan produk sampingan (HFC-23) yang memiliki kontribusi terhadap pemanasan global.

Diskusikan dengan teman sekelompok, masalah apa yang mendorong adanya kebijakan internasional untuk memprakarsai pengurangan konsumsi refriejeran dari keluarga CFC.. Presentasikan hasilnya di kelas. Paparan kalian harus komprehensif, menyingkap berbagai hal yang berkaitan dengan aspek konseptual, faktual dan prosedural.

1. Pengurangan Konsumsi CFC

Kementerian Lingkungan Hidup terus melakukan upaya untuk mengatasi penipisan lapisan ozon. Salah satu upaya yang dilakukan adalah penegakan hukum kepada para perusahaan yang masih menggunakan Bahan Perusak Ozon (BPO) dalam bahan bakunya.

Untuk mendukung upaya itu, Indonesia melalui Kementerian Lingkungan Hidup telah menyelenggarakan *workshop* mengenai Penataan Hukum terhadap Penggunaan dan Perdagangan Bahan Perusak Ozon (BPO) bertempat di Bali Nusa Dua *Convention Center* pada bulan November 2011. Hal ini ditujukan untuk mengantisipasi penghentian penggunaan BPO yang menjadi komitmen Indonesia untuk ikut berperan dalam mengatasi penipisan lapisan ozon. Setiap negara yang telah ikut meratifikasi Protokol Montreal, termasuk Indonesia harus memiliki perangkat kebijakan mengatasi dampak pembekuan dan penghentian pemakaian BPO.

Komitmen baru Protokol Montreal yang diadopsi pada tahun 2007 adalah mempercepat penghapusan *refrigerant* R-22 yang merupakan senyawa *hydrochlorofluorocarbon* (HCFC), dimana HCFC memiliki nilai potensi merusak ozon dan potensi pemanasan global. Dibanding dengan karbon dioksida (CO2), HCFC yang paling umum digunakan berpotensi 2.000 kali lebih kuat dalam meningkatkan pemanasan global.

Indonesia telah menyusun *HCFC Phase Out Management Plan* (HPMP) untuk mencapai target *freeze* pada tahun 2013 dan 10% reduksi HCFC pada tahun 2015, yang diharapkan juga dapat mendukung target Indonesia secara sukarela untuk menurunkan emisi CO2 sebesar 26% dari kebutuhan normal, yang akan dicapai pada tahun 2020. Saat ini terdapat berbagai peraturan nasional baik berupa undang-undang, peraturan pemerintah, keputusan Menteri yang berkaitan dengan tentang

larangan memproduksi dan memperdagangkan bahan perusak lapisan ozon serta memproduksi dan memperdagangkan bahan perusak lapisan ozon (*BPO*).

Kementerian Lingkungan Hidup bersama dengan instansi terkait lainnya telah melakukan koordinasi dan sinkronisasi kebijakan untuk mengantisipasi pembekuan dan penghentian penggunaan BPO dimaksud sehingga tidak berdampak bagi industri dan pasar Indonesia. Disamping itu penegakan hukum harus dilaksanakan untuk mengatasi terjadinya perdagangan dan peredaran BPO yang dihentikan peredarannya di Indonesia. Sesuai dengan Pasal 69 Jo 107 Undang-Undang Nomor 32 Tahun 2009 Tentang Pengelolaan Lingkungan Hidup disebutkan bahwa setiap orang yang memasukkan B3 yang dilarang menurut peraturan perundang-undangan ke dalam wilayah Negara Kesatuan Republik Indonesia dipidana dengan pidana penjara paling singkat 5 (lima) tahun dan paling lama 15 (lima belas) tahun dan denda paling sedikit Rp5.000.000.000 (lima miliar rupiah) dan paling banyak Rp15.000.000.000 (lima belas miliar rupiah).

Jadwal Pengurangan Konsumsi HCFC Termasuk R-22

January 1, 2004:

Protokol Montreal meminta Amerika Serikat untuk mengurangi konsumsi HCFC sebesar 35%. Dari kapasitas tahun sebelumnya (2003). Produksi HCFC-141b dihentikan.

January 1, 2010:

Protokol Montreal meminta Amerika Serikat mengurangi konsumsi HCFC sebesar 75% dari kapasitas tahun 2003. Hanya memproduksi HCFC-22 untuk keperluan *service* unit tata udara yang sudah ada. R-22 tidak lagi digunakan pada unit tata udara baru.

January 1, 2015:

Protokol Montreal meminta Amerika Serikat untuk mengurangi konsumsi HCFCs sebesar 90% dari kapasitas sebelumnya..

January 1, 2020:

Protokol Montreal meminta Amerika Serikat untuk mengurangi konsumsi HCFC sebesar 99.5% dari kapasitas sebelumnya.

2. *Refrigerant* Ramah lingkungan

Saat ini sudah ditemukan *refrigerant* alternatif yang ramah lingkungan. Disamping menggunakan bahan yang sudah ada sejak dahulu seperti *hydrocarbon*, *ammonia*, dan *carbon dioxide*, telah ditemukan bahan baru dari keluarga HFC (*hidrofluorokarbon*). Pertimbangan yang selalu menjadi isu pertama dalam mendesain sistem adalah hemat energi dan masalah lain yang terkait dengan masalah *flammability, toxicity, corrosiveness* and *extreme pressures*.

Aspek-aspek berikut ini yang selalu menjadi pertimbangan utama dalam memilih *refrigerant* di masa depan, yaitu:

- *Efficiency (theoretical, volumetric, potential for optimisation of the working process);*
- *Safety (including toxicity, flammability, and high pressure);*
- *Environmental impact: refrigerants should have zero ODP and low GWP;*
- *Thermophysical properties:*
- *Critical point and triple point*
- *Low pressure level*
- *Pressure ratio of the refrigerant in the application*
- *Chemical properties, such as material compatibility, miscibility with oil, chemical stability, and miscibility with water;*
- *Economic viability (including the initial cost of the system and the life cycle cost);*
- *Availability of the refrigerant*

Hydrocarbon

Hydrocarbon merupakan *refrigerant* dari kelompok gas alam produksi industri petrokimia, dan tidak memiliki kontribusi terhadap perusakan ozon dan pemanasan global.

Hydrocarbon bahan mudah terbakar sehingga penanganannya harus ekstra hati-hati. Hidrokarbon dapat digunakan pada aplikasi refrigerasi dan tata udara. Untuk menjamin keamanannya penggunaan hidrokarbon harus mengikuti regulasi yang berlaku secara internasional. *Refrigerant* dari kelompok ini adalah

- R600a *Isobutane*, untuk aplikasi refrigerasi
- R290 *Propane*, menggantikan R22, R404a, dan R134a
- R1270 *Propylene*, menggantikan R22 dan R502

Karbon dioksida (CO2)

CO2 merupakan *refrigerant* bertekanan tinggi. Tekanan operasi CO2 termasuk sangat tinggi dapat mencapai antara 20 dan 50 bar pada sisi tekanan rendah atau *subcritical system* dan antara 60 dan 130 bar pada daerah *transcritical system* (antara kompresor dan piranti *high-pressure regulating*). Pada saat *standstill* tekanan likuid dapat mencapai dan melampaui tekanan saturasi pada suhu ambien. Sehingga sistemnya di desain dengan *condensing* unit kecil, yang dapat menahan tekanan hingga 90 Bar.

CO2 merupakan produk sampingan dari beberapa industri, sehingga harga CO2 sebagai *refrigerant* sangat rendah. Karena jumlah instalasi dengan CO2 meningkat, menjadikan *life cycle cost* CO2 menjadi sangat rendah.

CO2 biasa digunakan secara kombinasi dengan *ammonia*, pada sistem *cascade* atau *volatile brine*.

Ammonia (NH3)

Ammonia (NH3) adalah *refrigerant* paling terkenal. Amonia banyak digunakan pada industri refrigerasi skala besar. Ammonia memiliki sifat *thermodynamic* yang sangat menguntungkan. Karena mirip dengan R22 yang merupakan *refrigerant* paling efisien. Tetapi ada kelemahannya, yaitu masalah *compatibility, toxicity*, and *flammability*.

Ammonia sebagai *refrigerant* alami tidak memiliki kontribusi terhadap perusakan ozon dan pemanasan global. Sehingga disamping memiliki efisiensi tinggi, amonia juga ramah lingkungan.

Aplikasi amonia antara lain untuk

- *Distribution cold stores*
- *Freezing tunnels*
- *Breweries*
- *Food processing plants (slaughterhouses, ice cream factories, etc.)*
- *Fish trawlers*

Hidrofluorokarbon (HFC) dan *Hidrofluoroolefin* (HFO)

HFC merupakan *refrigerant* sintentis yang terdiri dari berbagai campuran senyawa. R-134a merupakan *main single-compound refrigerant*, sedangkan *main HFC mixture* adalah R404A (R125/ R143a / R134a), R507 (R125 / R143a), R407C (R32 / R125 / R134a), and R410A (R32 / R125). Campuran HFC dapat di desain untuk seluruh aplikasi.

R407A dan R407F merupakan campuran HFC sebagai pengganti R-22. Tetapi masih memiliki kontribusi terhadap pemanasan global walaupun lebih rendah dibandingkan R-22.

R1234yf and R1234ze merupakan dua HFC tak jenuh yang dikenal sebagai HFO. R1234yf digunakan pada industri mobil menggantikan R-134a, sedang R1234ze menggantikan R134a pada *centrifugal chillers*.

Tabel 3.1 Kode Warna Tabung *Refrigerant*

No.	Nama *Refrigerant*	Nomor	Warna	Komposisi Kimiawi
1.	***Diklorodifluorometana***	R12	White	CFC
2.	***Klorodifluorometana***	R22	Light Green	HCFC
3.	***Tetrafluoroethane***	R134a	Light Blue	HFC
4.		R404a	Orange	Zeotropic HCFC
5.		R407c	Chocolate brown	Zeotropic HFC

6.		R410a	Rose	Zeotropic HFC
7.		R502	Light Purple	Azeotropic CFC

3. Pelumas Refrijeran

Oli pelumas pada sistem refrigerasi bersirkulasi di dalam sistem pemipaan bersama dengan *refrigerant*. Oli refrigerasi memberikan efek pelumas dan pendinginan ke bagian-bagian bergerak kompresor. Karena oli bercampur dengan *refrigerant*, maka *refrigerant* harus memiliki karakteristik tertentu. Oli refrigerasi bersentuhan (kontak fisik) dengan kumparan motor yang yang suhunya tinggi (panas) di dalam sistem kompresor *hermetic*. Oleh karena itu oli refrigerasi harus mampu memikul suhu tinggi tanpa merusak *refrigerant* dan peralatannya.

Oli di dalam sistem refrigerasi didinginkan hingga suhu yang sangat rendah. (dingin), oleh karena itu oli *refrigerant* harus mampu bertahan pada suhu rendah. Oli *refrigerant* harus tetap dalam bentuk fluida di seluruh bagian sistem baik yang bersuhu tinggi maupun yang bersuhu rendah. Tingkat fluiditas oli *refrigerant* tergantung pada berberapa faktor, meliputi jenis *refrigerant* yang digunakan, suhu kerja sistem, sifat oli yang digunakan, tingkat kelarutan dengan *refrigerant*, dan tingkat kelarutan *refrigerant* di dalam oli (agar tetap berbentuk fluida oli pada suhu rendah).

Sifat oli refrigerasi yang baik adalah:

Kandungan lilinnya rendah. Terpisahnya kandungan lilin dari campuran oli *refrigerant* dapat menempel pada lubang katup ekspansi.

Stabilitas termalnya bagus. Oli *refrigerant* tidak menghasilkan deposit karbon pada bagian terpanas (*hot spot*) di kompresor (seperti katup dan pintu saluran keluar).

Stabilitas kimiawinya bagus. Oli *refrigerant* tidak menimbulkan reaksi kimia dengan *refrigerant* atau material-material yang digunakan di dalam sistem.

Titik pourivitasnya rendah. Kemampuan oli *refrigerant* tetap dalam bentuk fluida pada suhu rendah di dalam sistem.

Tingkat kelekatannya rendah. Kemampuan oli *refrigerant* tetap mempertahankan sifat pelumasnya pada suhu tinggi dan juga memiliki fluiditas baik pada suhu rendah, agar dapat memberikan efek pelumas yang prima.

Untuk meningkatkan performa oli *refrigerant*, beberapa pabrikan menambahkan bahan kimiawi pada campuran oli. Bahan kimia tersebut di desain untuk mencegah terjadinya *foaming* atau terbentuknya formasi lumpur. Oli yang terkontaminasi dengan udara kering atau uap air akan membentuk lumpur atau *varnish*. Hal ini dapat menyebabkan kerusakan pada unit.

Oli yang diambil dari dalam sistem harus tetap jernih. Adanya perubahan warna oli menandakan adanya pencemaran. Jika hal tersebut terjadi, maka *drier* dan filter harus diganti dengan *drier* dan filter baru sebelum mengganti oli *refrigerant*nya.

Indikator lainnya yang dapat diketahui ketika terjadi kontaminasi oli *refrigerant* adalah bau oli. Oli *refrigerant* pada kompresor *hermetic* yang mengalami kontaminasi dapat menimbulkan asam (*acid*) dan dapat merusak tangan jika terkena oli tersebut.

Hanya oli yang direkomendasikan oleh pabrikan kompresor yang boleh digunakan. Kontainer oli *refrigerant* harus tertutup rapat (kedap udara). Oli yang tidak tertutup rapat dapat terkontaminasi dengan udara dan uap air.

Oli *refrigerant* dari bahan mineral tidak cocok digunakan dengan *refrigerant* jenis baru. *Polyolester* (POE), *alkyl-benzene* (AB), dan *polyalkylene glycol* (PAG) di desain untuk digunakan dengan *refrigerant* alternatif yang ramah lingkungan. Tersedia beberapa tingkat untuk oli jenis POE. Oli jenis POE sesuai dengan seluruh *refrigerant* dari keluarga CFC, HCFC, dan HFC.

Uap air di dalam *Refrigerant*

Uap air di dalam sistem refrigerasi akan cenderung membeku ketika berada pada daerah katup ekspansi. Hal tersebut dapat membuat buntu dan atau buntu sebagian pada katup ekspansi. Disamping itu, keberadaan uap air di dalam *refrigerant* pada daerah suhu tinggi juga dapat menimbulkan asam yang bersifat merusak. Adanya unsur asam pada *refrigerant* menimbulkan karat, korosi, atau lumpur oli, yang dapat menyebabkan motor kompresor *hermetic* terbakar.

Adanya uap air di dalam sistem refrigerasi dapat ditentukan secara mudah dengan memasang *moisture indicator* pada saluran likuid. Piranti *moisture indicator* yang ada pada *sight glass* yang terpasang pada saluran likuid akan berubah warna sesuai dengan tingkat kontaminasinya.

Pada saat melakukan instalasi pemipaan, uap air yang terjebak di dalam sistem refrigerasi tidak dapat terbuang seluruhnya. Tetapi ketika sedang melakukan perawatan, perbaikan atau pemipaan refrigerasi, masuknya uap air ke dalam sistem harus diusahakan serendah mungkin. Tingkat kandungan uap air minimal yang diijinkan tidak boleh lebih dari lima ppm (*parts per million*).

D. **Kegiatan Belajar 4**

Mengunakan Alat Ukur Besaran Fisis Udara

Seperti yang sudah kalian pahami bahwa tata udara (*air conditioning*) dapat didefinisikan sebagai pengontrolan secara simultan semua faktor yang dapat berpengaruh terhadap kondisi fisik dan kimiawi udara dalam struktur tertentu. Udara atmosfer merupakan substansi kerja dalam kegiatan tata udara. Unsur-unsur paling penting dalam substansi kerja tersebut adalah suhu, kelembaban, dan pergerakan udara. Di mana ketiga elemen tersebut dapat berpengaruh terhadap kesehatan dan kenyamanan tubuh. Untuk keperluan pengkondisian udara ruang maka ketiga elemen tersebut harus diketahui besarannya melalui pengukuran.

Lembar Kerja 4.1. **Menguraikan Alat Pengukur Suhu Udara**

Diskusikan dengan teman sekelompok tentang alat ukur suhu udara. Uraikan komponen serta prinsip kerjanya menurut versi kalian masing-masing! Untuk itu

kalian perlu mengumpulkan informasi yang relevan agar laporan kalian lengkap. Presentasikan hasil penyingkapan alat ukur suhu yang kalian peroleh di kelas.

1. Pengukuran Suhu dengan Termometer

Tinggi rendahnya suhu mengindikasikan intensitas panas atau level panas pada suatu zat. Suhu tidak menunjukkan jumlah panas yang dikandung suatu zat. Tetapi hanya menunjukkan tingkat kehangatan atau seberapa panas atau dingin zat ada pada zat tersebut. Dalam teori molekul tentang panas, besaran suhu menunjukkan kecepatan pergerakan molekul. Oleh karena itu pada aplikasi praktis penggunaan istilah suhu dan panas harus hati-hati. Suhu mengukur kecepatan pergerakan atom dalam suatu zat. Sedangkan panas adalah energi termal yang dimiliki atom dikalikan jumlah atom yang ada pada suatu zat.

Sebagai contoh, sebuah piringan tembaga yang memiliki massa beberapa gram, dipanaskan hingga mencapai 1.340^{o}F (727^{o}C) tidak akan memiliki panas sebanyak panas yang dikandung oleh lima kilogram tembaga yang dipanaskan hingga mencapai suhu 284^{o}F(140^{o}C).

Suhu diukur dengan *thermometer*. Prinsip pengukuran suhu berdasarkan ekspansi likuid yang terletak di dalam sebuah tabung kapiler tertutup. *Thermometer* dilengkapi dengan *bulb* yang terletak di bagian bawah tabung dimana di dalam *bulb* tersebut berisikan *mercury* atau alkohol. Selama terjadi perubahan suhu, tabung gelas tidak akan mengalami ekspansi, tetapi likuid yang ada di dalam *bulb* akan berekspansi naik dan turun di dalam tabung kapiler ketika terjadi perubahan suhu. Selanjutnya, tabung dikalibrasi atau diberi skala sesuai skala yang berlaku secara internasional. Gambar 4.1 memperlihatkan tipikal termometer tabung.

Gambar 4.1 *Thermometer* Tabung

Gambar 4.1 memperlihatkan termometer yang dapat digunakan untuk mengukur suhu tinggi hingga ribuan derajat Celcius. Termometer seperti ini lazim disebut sebagai pirometer. Istilah pirometer berkonotasi suhu tinggi. Lazimnya termometer tersebut dibangun dengan menerapkan skala digital.

Gambar 4.2 Tipikal Pirometer Digital

Termometer digital yang diperlihatkan dalam Gambar 4.2 memiliki perbedaan dari sisi prinsip pengukurannya. Termometer pertama dibangun dengan sensor suhu dari bahan *thermistor*. Bahan termistor adalah bahan semikonduktor yang peka terhadap suhu. Jika suhu berubah maka resistansi bahan tersebut juga berubah. Pada alat ukur tersebut harus ada kontak antara sensor dengan substansi yang akan diukur. Perubahan resistansi dikalibrasikan secara proporsional dengan perubahan suhu. Termometer kedua berbasis sinar laser yang mengukur radiasi yang diserap atau yang dibuang oleh suatu zat. Hasil pendeteksian radiasi dikalibrasikan ke nilai suhu. Pada sistem laser tidak ada kontak antara zat yang diukur dengan alat ukurnya.

Suhu Bola Kering (*Dry bulb*) dan Suhu Bola Basah

Suhu bola kering atau *dry bulb* adalah nilai suhu yang diperoleh dari pengukuran suhu di mana *thermometer* yang digunakan untuk mengukur suhu adalah *thermometer* bola kering. Bila sensor panas (*bulb*) termometer yang digunakan untuk mengukur suhu dijaga dalam kondisi kering maka termometernya disebut sebagai termometer bola kering. Hasil pengukuran suhu dengan alat ini disebut sebagai: Suhu Bola Kering. Dalam keadaan biasa, bila ukuran suhu tersebut tidak diberi penjelasan khusus maka dianggap sebagai ukuran bola kering. Sebagai contoh: 20 ^{0}C bola kering atau cukup dengan: 20 ^{0}C.

Bila sensor suhu (*bulb*) *thermometer* yang digunakan sengaja dikondisikan menjadi basah, yaitu sengaja ditutup oleh kain yang higroskopis maka ukuran suhu yang diperoleh disebut sebagai ukuran suhu bola basah. Dalam kondisi biasa, adanya cairan yang melingkupi sensor panas ini akan menyebabkan penunjukkan skala suhu bola basah yang lebih rendah daripada penunjukkan suhu bola kering. Tetapi bila kandungan uap air di udara mencapai titik maksimalnya (titik jenuh) maka penunjukkan kedua jenis *thermometer* tersebut menjadi sama.

Dalam keadaan jenuh maka cairan yang ada di sekeliling *bulb thermometer* tidak dapat menguap lagi sehingga penunjukkan *thermometer* basah menjadi sama dengan *thermometer* bola kering. Tetapi bila kondisi udara ruang belum mencapai saturasi maka penunjukkan *thermometer* bola basah selalu lebih rendah dari bola kering, akibat adanya efek penguapan cairan yang terjadi pada *thermometer* bola

basah. Alat khusus dapat digunakan untuk mengukur bola basah da bola kering disebut *Sling Psychrometer*.

Gambar 4.3 ***Sling Psychrometer***

Sling Psychrometer terbuat dari dua *thermometer*, satu bola kering dan satu lagi bola basah yang dipasang berdampingan pada suatu papan dan dilengkapi dengan *handle* pemutar, sehingga susunan tersebut mudah diputar. Dalam penggunaannya *sling* diputar selama satu menit, kemudian di baca penunjukan kedua *themometer* bola kering dan bola basah.

Presedur Menggunakan *Sling Psychrometer*:

1. Periksa pembacaan kedua *thermometer* sebelum digunakan.
2. Basahi selongsong higroskopis dengan air
3. Putar *Sling Psychrometer* kurang lebih selama 20 detik dengan kecepatan putar sekitar 150 rpm.
4. Baca skala *Wet Bulb* terlebih dahulu segera setelah pemutaran selesai dilakukan. Kemudian baru membaca skala *dry Bulb thermometer*nya.
5. Dapatkan minimal tiga kali pembacaan untuk dapat memperoleh hasil yang lebih akurat. Setiap kali pembacaan, pastikan selongsong kain senantiasa dalam keadaan basah.
6. Catat hasil pembacaan dan plotkan pada *chart* psikrometrik untuk memperoleh data-data lain yang diperlukan.

Lembar Kerja 4.2 Mengukur Kondisi Udara Ruang

Persiapkan sebuah eksperimen untuk mengukur kondisi udara pada suatu ruang, meliputi suhu *dry bulb*, dan suhu *wet bulb*. Untuk itu kalian harus mempersiapkan instrumen pengumpulan data. Setelah siap, dilanjutkan dengan pengumpulan data. Lakukan pengambilan data untuk dua jenis ruangan yakni ruangan yang belum dikondisikan udaranya dan ruangan yang telah dikondisikan udaranya dengan unit tata udara. Presentasikan hasil eksperimen kalian di kelas.

2. Pengukuran Suhu *Refrigerant* dengan *Gauge Manifold*

Apa yang kalian ketahui tentang *gauge manifold*?. Cobalah kalian amati lagi dengan lebih seksama skala ukur yang ada di skala *gauge manifold*.

Gambar 4.4Tipikal Skala pada *Gauge Manifold*

Dalam Gambar 4.4 terlihat jelas, pada setiap *gauge manifold* selalu dilengkapi dengan dua jenis skala, yaitu skala tekanan dengan berbagai satuan dan skala suhu dengan satuan Celcius atau Fahrenheit.

Lembar Kerja 4.3 Menginterpretasi Skala Tekanan dan Skala Suhu pada *Gauge Manifold*. Diskusikan dengan teman sekelompokmu. Skala tekanan dan skala suhu yang ada di setiap *gauge manifold*. Masalah yang harus kalian selesaikan

adalah: untuk keperluan apa kedua jenis skala ukur yang ada pada *gauge manifold*? Presentasikan hasil investigasi kalian di kelas.

Pengukuran Suhu Saturasi

Marilah kita ungkap lagi pemahaman yang telah kalian dapatkan pada kegiatan belajar ke satu tentang suhu saturasi. Suhu di mana suatu fluida atau zat cair merubah dari fasa cair menjadi fasa uap atau gas, atau kebalikannya, yaitu dari fasa gas berubah menjadi fasa cair, disebut suhu saturasi. Pada setiap saat proses perubahan fase, selalu berlangsung pada suhu konstan. Ini berarti, pada saat perubahan fase berlangsung energi panas yang diserap oleh suatu zat hanya semata-mata digunakan untuk proses perubahan fase. Energi panas yang digunakan untuk perubahan fase disebut panas laten. Likuid yang berada pada suhu saturasi disebut likuid saturasi dan uap yang berada pada suhu saturasi disebut uap saturasi. Satu hal penting yang perlu diketahui adalah, suhu saturasi untuk likuid (suhu di mana likuid akan menguap) dan suhu saturasi uap (suhu di mana uap mulai mengembun) adalah sama pada suatu tekanan tertentu.

Pada suatu tekanan tertentu, suhu saturasi adalah suhu maksimum likuid dan suhu minimum uap yang dapat dicapai. Adanya usaha untuk menaikkan suhu likuid di atas suhu saturasi hanya akan menyebabkan menguapnya beberapa bagian dari likuid. Hal yang sama akan terjadi, bila adanya upaya untuk menurunkan suhu uap di bawah suhu saturasi uap, hanya akan menyebabkan beberapa bagian uap mengembun.

Pertanyaan berikutnya yang pasti kalian kemukakan adalah bagaimana mengukur suhu saturasi tersebut? Dan jika kalian kaitkan masalah ini dengan proses yang terjadi di evaporator dan kondensor. Di kedua komponen tersebut *refrigerant* mengalami perubahan fase, dari likuid ke gas dan sebaliknya dari gas ke likuid. Bagaimana cara mengukur suhu saturasi di evaporator dan kondensor?

Lembar Kerja 4.4. Mengukur Suhu Kondensasi dan Suhu Evaporasi.

Persiapkan sebuah eksperimen untuk mengukur suhu kondensasi dan suhu evaporasi pada unit tata udara yang ada di sekolah kalian. Diskusikan dengan teman sekelompok rancangan pengukuran suhu saturasi di evaporator dan kondensor ketika

unit tata udara sedang beroperasi. Untuk tugas ini kalian harus melakukan eksperimen. Sebagai objek penelitian adalah unit *trainer* tata udara yang ada di sekolah kalian. Hasil eksperimen dipresentasikan di kelas. Paparan yang kalian sampaikan harus menampilkan data operasional aktual dari sebuah unit tata udara!

Skala Suhu Saturasi pada *Gauge Manifold*

Gambar 4.5 Skala Suhu pada LPG dan HPG

Skala suhu yang terdapat pada *gauge manifold* pada hakekatnya dikalibrasikan untuk pengukuran suhu saturasi. Skala suhu yang terdapat pada *low pressure gauge* (LPG) atau lazim disebut sebagai *compound gauge* digunakan untuk mengukur suhu evaporasi. Sedang skala suhu pada *high pressure gauge* (LPG) digunakan untuk mengukur suhu kondensasi.

Pengukuran Suhu Saturasi

Marilah kita ungkap lagi pemahaman yang telah kalian dapatkan pada kegiatan belajar ke satu tentang suhu saturasi. Suhu di mana suatu fluida atau zat cair merubah dari fasa cair menjadi fasa uap atau gas, atau kebalikannya, yaitu dari fasa gas berubah menjadi fasa cair, disebut suhu saturasi. Pada setiap saat proses perubahan fase, selalu berlangsung pada suhu konstan. Ini berarti, pada saat perubahan fase

berlangsung energi panas yang diserap oleh suatu zat hanya semata-mata digunakan untuk proses perubahan fase. Energi panas yang digunakan untuk perubahan fase disebut panas laten. Likuid yang berada pada suhu saturasi disebut likuid saturasi dan uap yang berada pada suhu saturasi disebut uap saturasi. Satu hal penting yang perlu diketahui adalah, suhu saturasi untuk likuid (suhu di mana likuid akan menguap) dan suhu saturasi uap (suhu di mana uap mulai mengembun) adalah sama pada suatu tekanan tertentu.

Pada suatu tekanan tertentu, suhu saturasi adalah suhu maksimum likuid dan suhu minimum uap yang dapat dicapai. Adanya usaha untuk menaikkan suhu likuid di atas suhu saturasi hanya akan menyebabkan menguapnya beberapa bagian dari likuid. Hal yang sama akan terjadi, bila adanya upaya untuk menurunkan suhu uap di bawah suhu saturasi uap, hanya akan menyebabkan beberapa bagian uap mengembun.

Pertanyaan berikutnya yang pasti kalian kemukakan adalah bagaimana mengukur suhu saturasi tersebut? Dan jika kalian kaitkan masalah ini dengan proses yang terjadi di evaporator dan kondensor. Di kedua komponen tersebut *refrigerant* mengalami perubahan fase, dari likuid ke gas dan sebaliknya dari gas ke likuid. Bagaimana cara mengukur suhu saturasi di evaporator dan kondensor?

Lembar Kerja 4.4. Mengukur Suhu Kondensasi dan Suhu Evaporasi.

Persiapkan sebuah eksperimen untuk mengukur suhu kondensasi dan suhu evaporasi pada unit tata udara yang ada di sekolah kalian. Diskusikan dengan teman sekelompok rancangan pengukuran suhu saturasi di evaporator dan kondensor ketika unit tata udara sedang beroperasi. Untuk tugas ini kalian harus melakukan eksperimen. Sebagai objek penelitian adalah unit *trainer* tata udara yang ada di sekolah kalian. Hasil eksperimen dipresentasikan di kelas. Paparan yang kalian sampaikan harus menampilkan data operasional aktual dari sebuah unit tata udara!

Skala Suhu Saturasi pada Gauge Manifold

Gambar 4.5 Skala Suhu pada LPG dan HPG

Skala suhu yang terdapat pada gauge manifold pada hakekatnya dikalibrasikan untuk pengukuran suhu saturasi. Skala suhu yang terdapat pada low pressure gauge (LPG) atau lazim disebut sebagai compound guage digunakan untuk mengukur suhu evaporasi. Sedang skala suhu pada high pressure gauge (LPG) digunakan untuk mengukur suhu kondensasi.

3. Pengukuran Laju Kecepatan Udara

Parameter udara yang perlu diukur kuantitasnya adalah laju kecepatan udara. Laju kecepatan udara berpengaruh terhadap kenyamanan tubuh. Kalian pasti pernah melakukannya, ketika udara terasa sangat panas dan gerah, maka kalian menggunakan fan untuk membuat kalian merasa lebih nyaman. Kalian pasti memahami fungsi fan. Fan dapat mempercepat laju pergerakan udara.Untuk mengukur laju kecepatan udara digunakan alat ukur khusus yang disebut vane anemometer. Biasanya anemometer didesain dengan skala digital.

Lembar Kerja 4.5 Menguraikan Anemometer

Kumpulkan informasi tentang anemometer. Presentasikan hasil penelusuran kalian di kelas.

Gambar 4.6 ***Vane Anemometer***

Gambar 4.6 memperlihatkan tipikal *vane anemometer* digital. Ada dua jenis anemometer, yaitu jenis paket (gambar a) dan jenis *split* (gambar b). Anemometer tipe *split* memiliki kelebihan yakni dapat digunakan untuk mengukur laju kecepatan udara di tempat yang lebih tinggi.

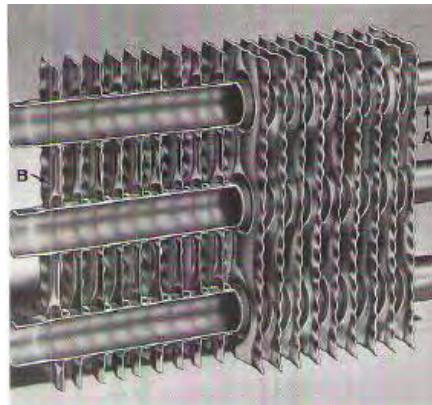
Lembar Kerja 4.6 Mengukur Laju Kecepatan Udara

Persiapkan eksperimen untuk mengukur laju kecepatan udara yang dihasilkan oleh sebuah AC *Split*. Pada AC *split* terdapat pengaturan kecepatan *blower* yang terdapat di evaporator. Untuk itu atur kecepatan *blower* pada berbagai kecepatan. Pada setiap pengaturan kecepatan, ukur laju kecepatan udara yang dihasilkannya. Untuk itu tempatkan sensor *vane anemometer* pada *grill indoor* unit. Presentasikan hasil eksperimen kalian di kelas.

E. Kegiatan Belajar 5

Menafsirkan dan Menyajikan Gambar Pemipaan

Menginterpretasikan gambar instalasi pemipaan dan menyajikan gambar sketsa pemipaan refrigerasi merupakan kompetensi yang harus dimiliki oleh setiap personil pemeliharaan atau mekanik refrigerasi dan tata udara. Dalam kegiatan belajar ini kalian akan belajar tentang pengetahuan dan keterampilan yang terkait dengan gambar instalasi pemipaan refrigerasi.

Mesin refrigerasi adalah mesin penukar kalor, yang memanfaatkan pemindahan panas untuk memperoleh efek pendinginan. Kapasitas pemindahan panas tergantung pada luas permukaan medium. Oleh karena itu penting juga bagi kalian untuk mengetahui dan menghitung luas permukaan unit penukar kalor, terutama kondensor dan evaporator. Gambar 5.1 memperlihatkan potongan koil evaporator.

Gambar 5.1Potongan Koil Evaporator

Lembar Kerja 5.1 Menentukan Kapasitas Evaporator

Tugas kalian adalah menghitung luas permukaan untuk transfer panas di evaporator. Untuk itu kalian harus membongkar unit *indoor AC split* atau membongkar *AC window*. Tentukan pilihanmu, ambil salah satu, *indoor AC split* atau *AC window*.

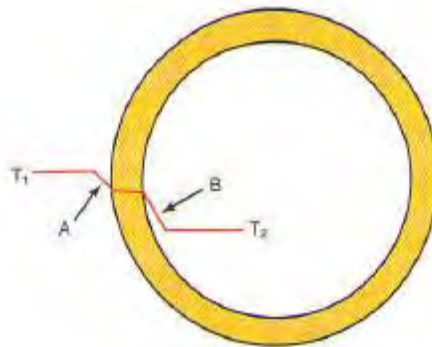
Setelah dibongkar, amati koil evaporatornya. Kalian harus dapat membuat gambar sketsa susunan pipa koil evaporator, dan membuat tabulasi data koil evaporator, meliputi: ukuran pipa, jumlah bengkokan, jumlah pipa paralel dan panjangnya, serta

ukuran *fin* dan jumlahnya. Data pipa tersebut sebagai dasar untuk menghitung kapasitas evaporator.

1. Menentukan Luas Area Evaporator

Dalam hukum *thermodinamic* (tentang panas) dinyatakan bahwa panas selalu berpindah dari objek yang memiliki suhu lebih tinggi ke objek yang memiliki suhu lebih rendah. Jumlah panas yang dipindahkan tergantung pada lima variabel, yaitu:

- Area
- Perbedaan suhu
- Konduktivitas panas
- Tebal material
- Waktu

Dari pernyataan tersebut, dapat kalian ketahui, bahwa jenis material yang digunakan untuk membangun koil evaporator menjadi hal yang paling penting. Material yang digunakan harus memiliki konduktivitas panas yang tinggi. Koil evaporator terdiri dari pipa dan *fin*. Melalui permukaan pipa dan *fin*, *refrigerant* akan menyerap panas dari udara sekitarnya.

Gambar 5.2 Potongan Pipa Evaporator

Untuk memudahkan penalaran kalian, coba kalian amati Gambar 5.2 yang memperlihatkan potongan pipa evaporator. Di dalam pipa tersebut mengalir likuid *refrigerant* bersuhu rendah.. Dalam kasus tersebut, panas akan ditransmisikan dari udara yang ada di sekeliling pipa evaporator, melalui permukaan pipa, dan akhirnya

ke likuid *refrigerant* yang ada di dalam koil evaporator._Jika pergerakan udara disekitar koil evaporator semakin cepat, maka aliran transfer panasnya juga akan lebih cepat. Jika laju pergerakan likuid *refrigerant* semakin cepat, dan jumlah likuid semakin banyak maka semakin besar pula jumlah panas yang dipindahkan.

Faktor U, yakni faktor spesifik material yang mempengaruhi besaran transfer panas tergantung pada hal berikut:

. *Natural convection evaporators* → sekitar 1 Btu/ft2/hr/'F.

. *Blower evaporator* → 3 Btu/ft'?lhr/'F.

. *Liquid-cooling evaporators*→15 Btu/ft'?lhrl"F

Nilai-nilai tersebut menjadi sangat akurat jika diberikan beda suhu antara udara sekitar evaporator dan likuid *refrigerant* yang ada di dalam pipa evaporator. Amati kembali Gambar 4.2, pada titik T1 dan T2. Beda suhu antara keduanya biasanya ditetapkan sebesar 10^{o}F(6^{o}C). Sebagai contoh, jika suhu kabinet 45^{o}F (7^{o}C) maka suhu likuid *refrigerant* di dalam koil evaporator adalah 35^{o}F (2^{o}C).

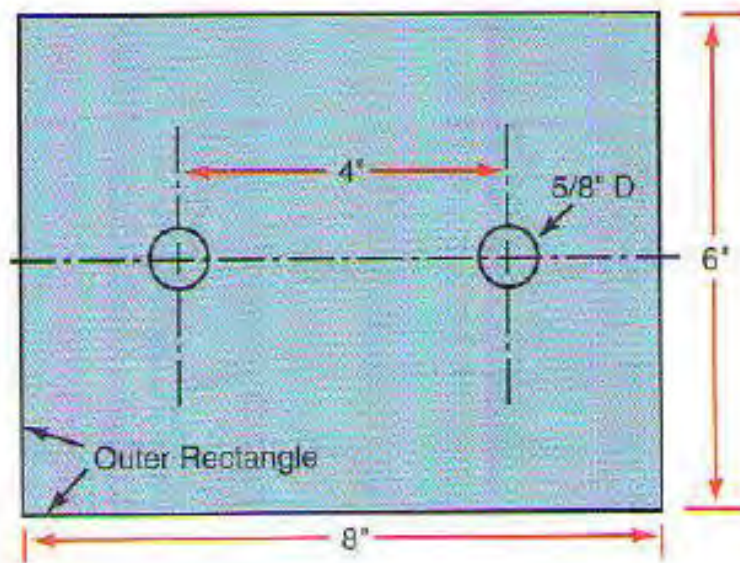
Semakin rendah beda suhu antara keduanya, maka semakin tinggi kelembaban relatif yang akan terjadi di dalam kabinet. Sebagai contoh, pada beda suhu sebesar 10°F hingga 12°F(6°C hingga 7°C) akan menghasilkan kelembaban relatif sebesar 75% RH hingga 90% RH, sedang pada 20°F hingga 30°F (11°C hingga 17°C) akan memberikan 50% RH hingga 70% RH.

Jika suhu likuid *refrigerant* turun hingga mencapai suhu di bawah 28°F (-2°C), bunga es (*frost*) mulai terbentuk di permukaan evaporator. Oleh karena pada kasus tersebut, harus dilengkapi dengan sistem pencairan bunga es (*defrost system*).

Untuk menentukan luas area evaporator, beberapa faktor berikut harus ikut diperhitungkan, yakni:

- kedua sisi permukaan *fin*;
- permukaan luar pipa (kecuali permukaan pipa yang kontak langsung dengan *fin*);
- permukaan luar bengkokan pipa.

Contoh Perhitungan:

Tentukan luas area sebuah seperti diperlihatkan pada Gambar 4.3. Ukuran *fin* evaporator 6" x 8" (15 cm x 20 cm), dengan tebal .025" (.06 mm). Jarak antar *fin* adalah_1/2" (13 mm). Evaporator terdiri dari dua pipa tembaga dengan panjang 10 *feet* (3 meter), dengan diameter 5/8"(15 mm) dan jarak antara kedua pipa adalah 4" (10 cm).

Gambar 5.3 Gambar Potongan Evaporator

Perhitungan:

1. Luas area setiap *fin*

   Setiap *fin* memiliki luas = 8 inci x 6 inci = 48 inci^2

   Untuk dua sisi permukaan

   Luas area total setiap *fin* = 48 inci^2 x 2 = 96 inci^2

   Pada setiap *fin* terdapat lubang berdiameter 5/8", sehingga luas area *fin* harus dikurangi luas lingkaran yang digunakan untuk pipa tembaga.

   Luas lingkaran = $\frac{1}{4} \pi D^2$

   = 0,25 x 3,1416 x $(5/8)^2$

   = 0,307 inci^2

Karena pada setiap lubang terdapat dua permukaan untuk perpindahan panas, maka untuk kedua permukaan memiliki luas area = 0,307 x 2 = 0,614 inci^2.

Karena pada setiap *fin* terdapat dua lubang untuk pipa, maka luas area seluruhnya = 0,614 x 2 = 1,228 inci^2.

Untuk *fin* yang berukuran 8 x 6 inci, dengan tebal 0,25 inci, maka luas area pada keempat sisi ujung *fin* = (2x8 + 2x6) x 0,25 = 0,7 inci^2.

Jadi luas area total untuk setiap *fin* = 96 inci^2 + 0,7 inci^2 – 1,228 inci^2 = 95,472 inci^2.

Jumlah *fin*

Panjang evaporator = 10 feed = 10 x 12 inci = 120 inci.

Karena jarak antar *fin* = ½ inci, jadi jumlah *fin* total = 120 x 2 + 1 = 241 *fin*.

Jadi luas *fin* total = 241 x 95,472 inci^2 = 23,008 inci^2.

2. Luas Area Permukaan Pipa

Panjang pipa = 10 *feet* = 10 x 12 inci = 120 inci.

Jadi luas area untuk dua pipa 5/8 inci dengan panjang 120 inci adalah:

Lingkaran pipa = *phi* x diameter pipa
= 3,1416 x 5/8 inci
= 1,9636

Luas permukaan pipa = panjang x lingkaran pipa
= 2 x 120 inci x 1,9636 inci
= 471,24 inci^2.

Luas area permukaan aktual adalah luas area permukaan pipa dikurangi dengan luas area yang terkait denga tebal *fin*.

Luas area kontak dengan *fin* = lingkaran lubang *fin* x tebal *fin* x jumlah *fin*
= 1,9635 x 0,025 x 241 = 11,83 inci^2.

Luas area kontak *fin* untuk dua lubang = 2 x 11,83 = 23,66 inci^2.

Jadi luas permukaan pipa aktual = 471,24 – 23,66 = 447,58 inci^2.

3. Luas Area permukaan Bengkokan

   Luas area bengkokan pipa = panjang bengkokan x lingkaran bengkokan x jumlah bengkokan.

   Panjang bengkokan = 3,1416 x 4 inci = 12,5664 inci.

   Karena bengkokan hanya setengah lingkaran, maka panjang bengkokan aktual adalah ½ x 12,5664 = 6,2832 inci.

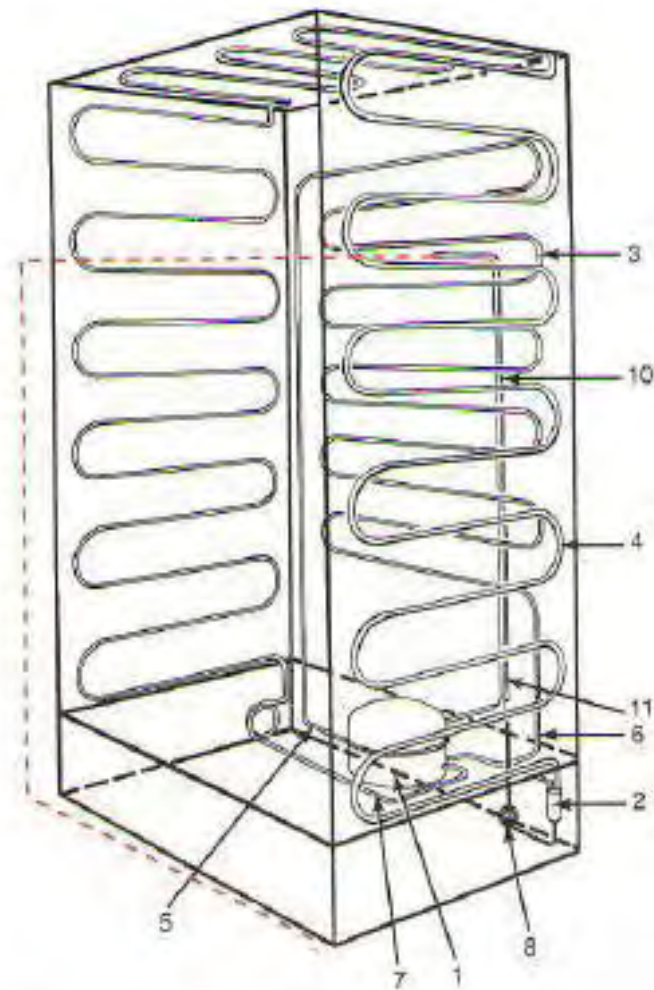
   Lingkaran pipa = 3,1416 x 5/8 inci = 1,96 inci

   Jadi luas area bengkokan = 6,2832 x 1,96 = 12,3 inci^2.

4. Luas Area Evaporator

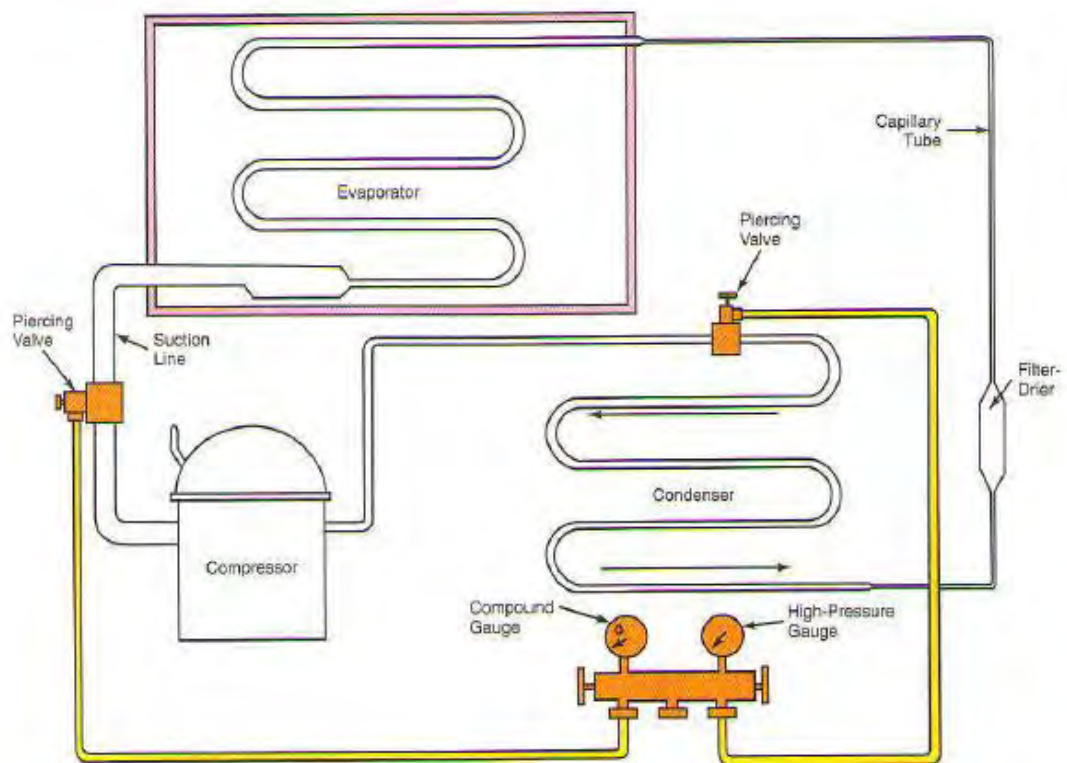
   Jadi luas area total evaporator = luas area *fin* total + luas area permukaan pipa aktual + luas area bengkokan

   Luas Area Evaporator = 23,008 + 447,6 + 12,3 = 23,468 inci^2.

2. Gambar Instalasi Pemipaan

Gambar 5.4 Instalasi Pemipaan *Freezer*

Lembar Kerja 5.2 Menginterpretasi dan Menyajikan Gambar Instalasi Pemipaan

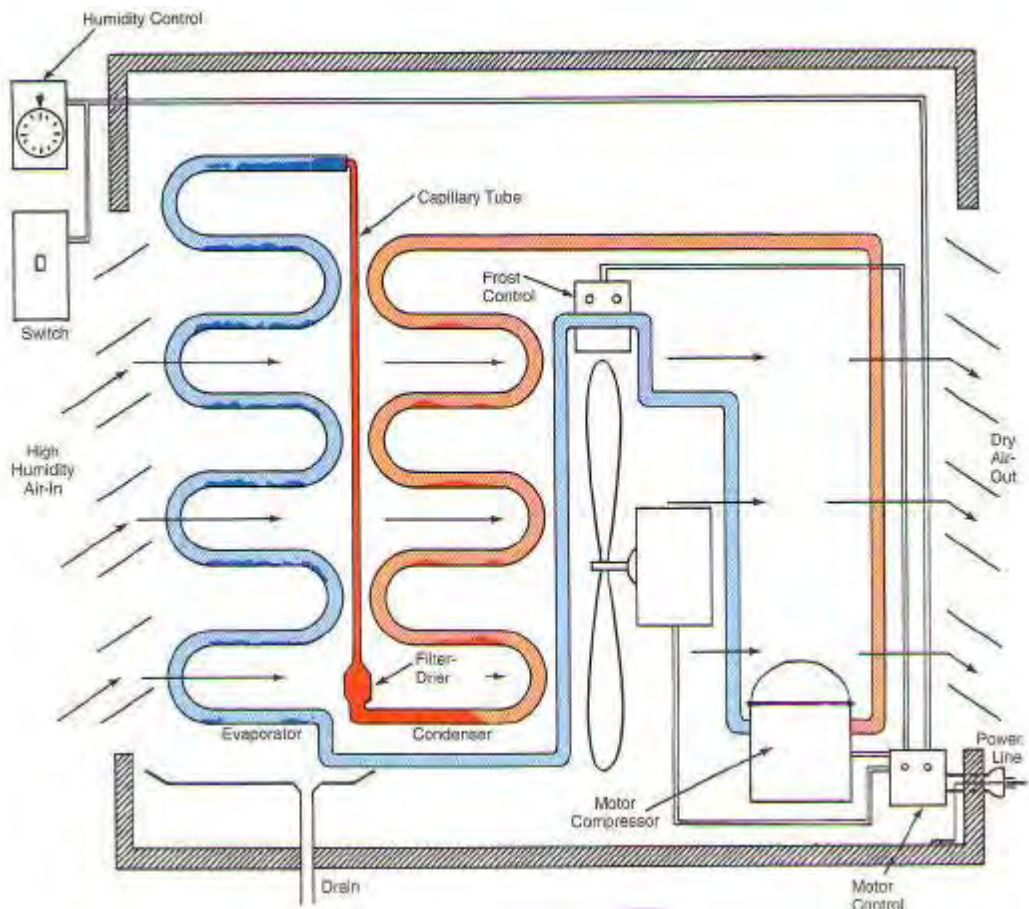
Gambar 4.3 memperlihatkan gambar instalasi pemipaan sebuah *freezer*. Tugas kalian secara kelompok adalah menginterpretasikan gambar tersebut, sehingga masalahnya menjadi jelas. Kalian harus mampu menjelaskan gambar instalasi pemipaan *freezer*. Presentasikan hasil kerja kalian di kelas.

Selanjutnya, tugas kalian secara individu adalah membuat sajian gambar instalasi pemipaan *freezer* secara manual. Sebagai objek penyajian, kalian bebas menentukan objeknya. Atau kalian boleh juga meniru sajian gambar 5.4.

Gambar 5.5 Ilustrasi Pemeriksaan Tekanan Operasi Unit Refrigerasi Domestik

Lembar Kerja 5.3. Menginterpretasi Gambar Ilustrasi Pemeriksaan Tekanan Operasi pada Unit Refrigerasi Kompresi Gas

Kalau pada Gambar 5.5 hanya memperlihatkan gambar instalasi pemipaan suatu unit refrigerasi kompresi gas, maka dalam Gambar 5.6 tidak hanya memperlihatkan gambar instalasi pemipaan suatu unit refrigerasi kompresi gas, tetapi juga menyajikan kegiatan pengukuran untuk memeriksa performansi unit refrigerasi kompresi gas.

Tugas kalian secara kelompok adalah menginterpretasikan gambar tersebut, sehingga masalahnya menjadi jelas. Kalian harus mampu menjelaskan gambar ilustrasi tersebut. Presentasikan hasil kerja kalian di kelas.

Selanjutnya, tugas kalian secara individu adalah membuat sajian gambar tersebut, dengan menggunakan bantuan komputer. Sebagai objek penyajian, kalian bebas menentukan objeknya. Atau kalian boleh juga meniru sajian gambar 5.6.

Gambar 5.6 Tipikal *Room Dehumidifier*

Lembar Kerja 5.4 Menginterpretasi dan Menyajikan Gambar *Room-dehumidifier*

Gambar 5.6 memperlihatkan gambar instalasi pemipaan sebuah *room-dehumidifier*. Tugas kalian secara kelompok adalah menginterpretasikan gambar tersebut, sehingga masalahnya menjadi jelas. Kalian harus mampu menjelaskan gambar instalasi *room-dehumidifier*. Presentasikan hasil kerja kalian di kelas.

Selanjutnya, tugas kalian secara individu adalah membuat sajian gambar instalasi pemipaan *room-dehumidifier* secara manual dan dengan bantuan komputer. Sebagai objek penyajian, kalian bebas menentukan objeknya. Atau kalian boleh juga meniru sajian gambar 5.6.

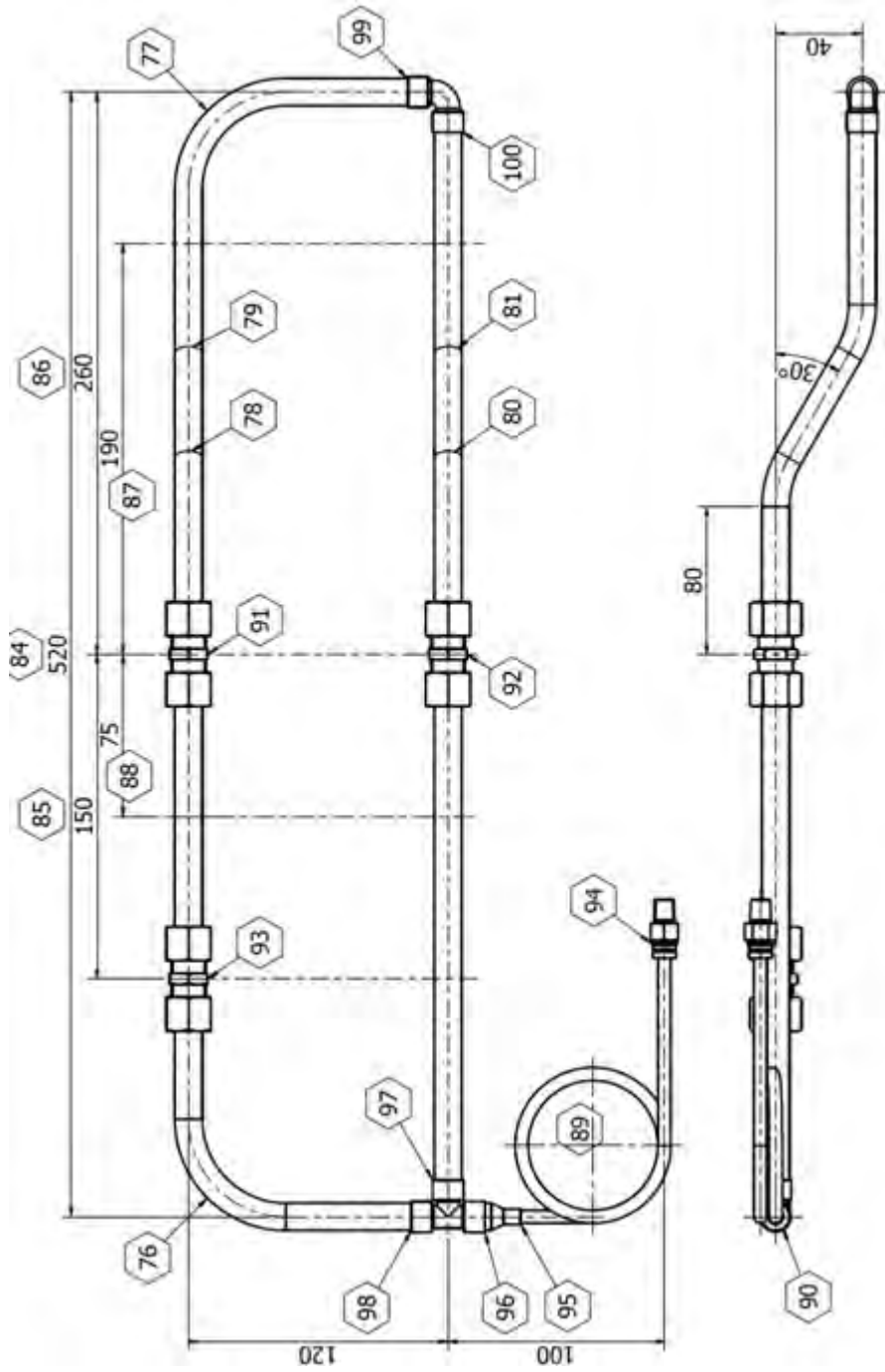
Gambar 5.6 Tipikal Instalasi Pemipaan *AC Window*

Lembar Kerja 5.4 Menginterpretasi dan Menyajikan Gambar Pemipaan *AC Window*

Gambar 5.6 memperlihatkan gambar instalasi pemipaan unit *AC window*. Tugas kalian secara kelompok adalah menginterpretasikan gambar tersebut, sehingga masalahnya menjadi jelas. Kalian harus mampu memperjelas terkait dengan gambar instalasi pemipaan unit *AC window*. Presentasikan hasil kerja kalian di kelas.

Selanjutnya, tugas kalian secara individu adalah membuat sajian gambar instalasi pemipaan unit *AC window* secara manual dan dengan bantuan komputer. Sebagai objek penyajian, kalian bebas menentukan objeknya. Atau kalian boleh juga meniru sajian gambar 5.6.

Lembar kerja 5.5 Mengintepretasikan dan Menyajikan Gambar Kerja Pemipaan

Gambar 5.7 memperlihatkan sebuah gambar kerja proyek pemipaan refrigerasi. Tugas kalian secara berkelompok adalah memperjelas gambar tersebut. Selanjutnya sebagi tugas individu adalah menyajikan ulang gambar kerja tersebut.

Gambar 5.7 Gambar Kerja Proyek Pemipaan Refrigerasi

F. Kegiatan Belajar 6

Menentukan Prosedur Pemasangan Unit Tata Udara Domestik

Lembar Kerja 6.1 Mengamati Instalasi Unit Tata Udara Domestik

Tugas kalian kali ini adalah mengamati instalasi pemasangan unit tata udara untuk keperluan rumah tangga, yang ada di sekitar sekolah kalian. Untuk tugas ini kalian harus membawa perlengkapan kamera atau alat sejenisnya, agar kalian dapat mengambil data visual. Kalian sudah tahu, bahwa ada berbagai jenis unit tata udara domestik, yaitu unit paket, unit *split*, unit pasangan di dinding, unit pasangan di langit-langit, dan *free standing*. Sebagai bahan perbandingan Gambar 6.1 berikut ini menyajikan beberapa ilustrasi instalasi pemasangan unit *AC Split* di beberapa lokasi.

Gambar 6.1 Instalasi Tata Udara Unit *AC Split*

Gambar 6.2 berikut ini menyajikan beberapa ilustrasi instalasi pemasangan unit *AC Window*.

Gambar 6.2 Instalasi *AC Window*

Pengukuran Suhu Saturasi

Marilah kita ungkap lagi pemahaman yang telah kalian dapatkan pada kegiatan belajar ke satu tentang suhu saturasi. Suhu di mana suatu fluida atau zat cair merubah dari fasa cair menjadi fasa uap atau gas, atau kebalikannya, yaitu dari fasa gas berubah menjadi fasa cair, disebut suhu saturasi. Pada setiap saat proses perubahan fase, selalu berlangsung pada suhu konstan. Ini berarti, pada saat perubahan fase berlangsung energi panas yang diserap oleh suatu zat hanya semata-mata digunakan untuk proses perubahan fase. Energi panas yang digunakan untuk perubahan fase disebut panas laten. Likuid yang berada pada suhu saturasi disebut likuid saturasi dan uap yang berada pada suhu saturasi disebut uap saturasi. Satu hal penting yang perlu diketahui adalah, suhu saturasi untuk likuid (suhu di mana likuid akan menguap) dan suhu saturasi uap (suhu di mana uap mulai mengembun) adalah sama pada suatu tekanan tertentu.

Pada suatu tekanan tertentu, suhu saturasi adalah suhu maksimum likuid dan suhu minimum uap yang dapat dicapai. Adanya usaha untuk menaikkan suhu likuid

di atas suhu saturasi hanya akan menyebabkan menguapnya beberapa bagian dari likuid. Hal yang sama akan terjadi, bila adanya upaya untuk menurunkan suhu uap di bawah suhu saturasi uap, hanya akan menyebabkan beberapa bagian uap mengembun.

Pertanyaan berikutnya yang pasti kalian kemukakan adalah bagaimana mengukur suhu saturasi tersebut? Dan jika kalian kaitkan masalah ini dengan proses yang terjadi di evaporator dan kondensor. Di kedua komponen tersebut *refrigerant* mengalami perubahan fase, dari likuid ke gas dan sebaliknya dari gas ke likuid. Bagaimana cara mengukur suhu saturasi di evaporator dan kondensor?

Lembar Kerja 4.4. Mengukur Suhu Kondensasi dan Suhu Evaporasi.

Persiapkan sebuah eksperimen untuk mengukur suhu kondensasi dan suhu evaporasi pada unit tata udara yang ada di sekolah kalian. Diskusikan dengan teman sekelompok rancangan pengukuran suhu saturasi di evaporator dan kondensor ketika unit tata udara sedang beroperasi. Untuk tugas ini kalian harus melakukan eksperimen. Sebagai objek penelitian adalah unit *trainer* tata udara yang ada di sekolah kalian. Hasil eksperimen dipresentasikan di kelas. Paparan yang kalian sampaikan harus menampilkan data operasional aktual dari sebuah unit tata udara!

Skala Suhu Saturasi pada *Gauge Manifold*

Gambar 4.5 Skala Suhu pada LPG dan HPG

Skala suhu yang terdapat pada *gauge manifold* pada hakekatnya dikalibrasikan untuk pengukuran suhu saturasi. Skala suhu yang terdapat pada *low pressure gauge* (LPG) atau lazim disebut sebagai *compound gauge* digunakan untuk mengukur suhu evaporasi. Sedang skala suhu pada *high pressure gauge* (LPG) digunakan untuk mengukur suhu kondensasi.

1. Persiapan Pemasangan Unit *AC Split*

Pemasangan instalasi unit *AC split* dapat dilakukan bila alat-alat kerja sudah dipersiapkan, antara lain:

- alat tangan meliputi obeng kembang, palu, kunci inggris dsb.
- pemotong pipa, yang berfungsi untuk memotong pipa *AC split*.
- bor listrik.
- *gauge manifold*.
- *refrigerant*
- *vacuum pump*
- tang *amperemeter*

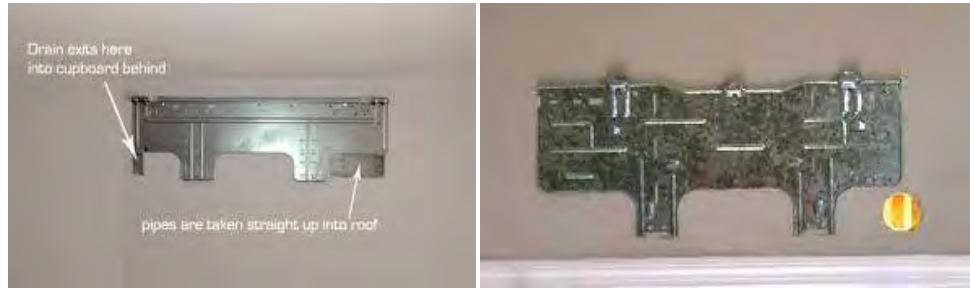
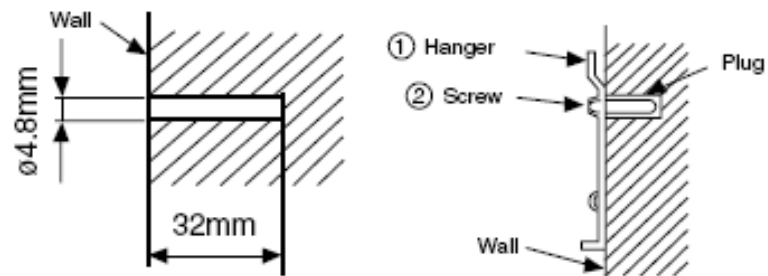
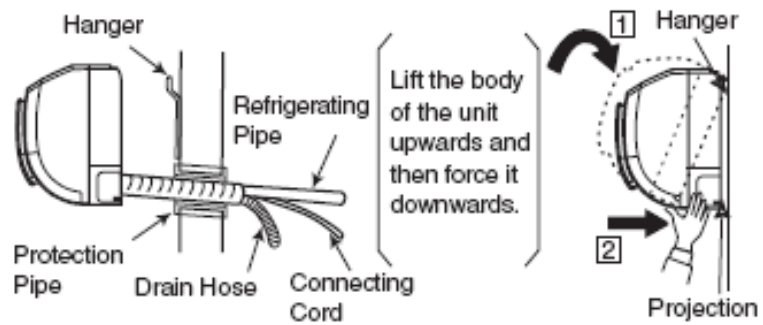
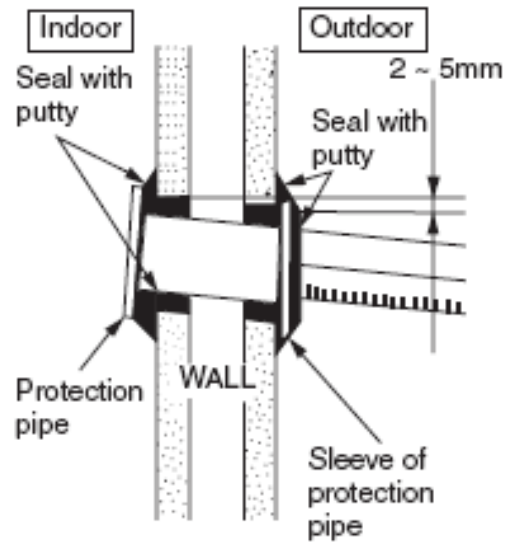
Pertimbangan pertama yang harus dilakukan dalam pemasangan *AC split* adalah melihat posisi dimana *AC split* akan dipasang dan kemana jalur pipa instalasi *AC split* harus ditempatkan, di_atas plafon, ditanam di_dalam tembok atau melubangi tembok dengan cara memboboknya dengan sebuah pahat.

Setelah posisi yang cocok sudah ditentukan, buka dus yg berisi *indoor unit* yang didalamnya terdapat *indoor unit, bracket indoor*, kabel *power supply* untuk ke *outdoor unit* dan *remote control*. Di belakang *indoor unit* terdapat *bracket* yang harus dilepaskan, lalu dipasang pada dinding sesuai posisi yang diinginkan.

2. Pemasangan Unit *Indoor*

Sesuai dengan namanya unit *indoor* di pasang di dalam ruangan. Penempatan unit *indoor* akan berpengaruh terhadap kinerja unit *AC Split* secara keseluruhan. Gambar 6.3 memperlihatkan aturan penempatan unit *indoor*. *Blower* yang terpasang pada unit *indoor* dari jenis *Sirocco fan*. *Sirocco fan* memiliki keunikan, yaitu mampu mengeluarkan hembusan yang lembut tetapi dapat menjangkau jarak lebih jauh dibandingkan dengan tipe *propeller fan*.

Gambar 6.3 Aturan Penempatan Unit *Indoor*

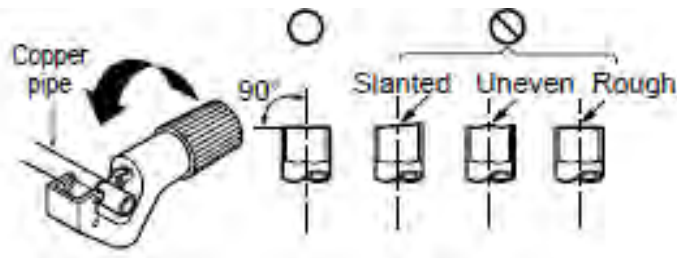
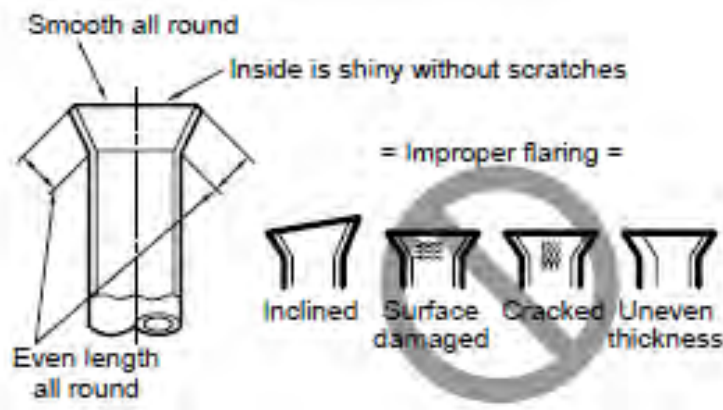
Untuk *indoor* pasangan di dinding, dilengkapi dengan *bracket*. Memasang *bracket indoor* dapat dilakukan dengan menggunakan *fisher*, Gunakan *waterpas* agar pemasangan *bracket indoor* tidak miring dan air yang keluar dari *indoor unit* dapat keluar dengan lancar. Perhatikan gambar berikut ini.

Gambar 6.3 *Bracket In-door Unit*

Gambar 6.4 Gambar Detail Pengeboran Dinding untuk *Fisher*

Gambar 6.5 Gambar Detail Pemasangan Unit *Indoor*

Gambar 6.6 Gambar Detail Lubang Dinding untuk Pipa dan Saluran Pembuangan Air Kondensat

3. Pemasangan Unit *Outdoor*

Sesuai dengan namanya unit *outdoor* di pasang di luar ruangan. Penempatan unit *outdoor* akan berpengaruh terhadap kinerja unit *AC Split* secara keseluruhan. Gambar 6.7 memperlihatkan berbagai cara penempatan unit *outdoor*. *Fan* yang terpasang pada unit *outdoor* dari jenis *propeller fan*. Berbeda dengan *Sirocco fan*, *propeller fan* mampu mengeluarkan hembusan yang kuat tetapi hanya dapat menjangkau jarak dekat.

Gambar 6.7 Pemasangan Unit *Outdoor*

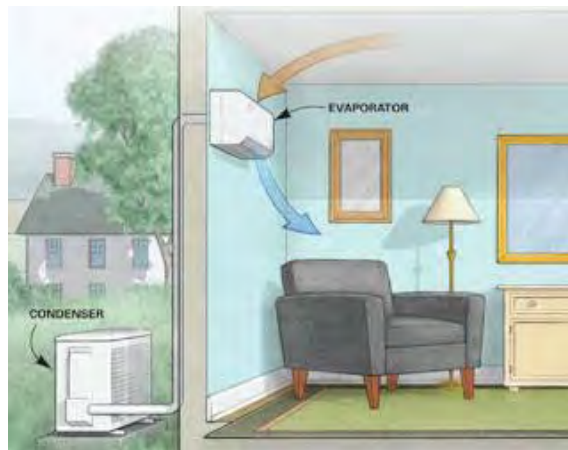
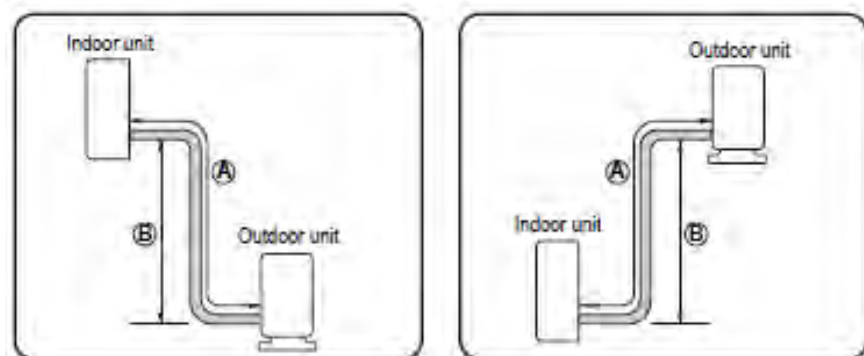
4. Pemasangan Instalasi Pemipaan

Setelah pemasangan unit indoor dan outdoor telah selesai dilakukan, kegiatan selanjutnya adalah pemasangan instalasi pemipaan *AC Split*. Pipa instalasi ini terbuat dari tembaga lunak yang sudah dilengkapi dengan bahan isolasi panas. Gambar 6.7 memperlihatkan tipikal pipa instalasi *AC split*. Ukuran pipa instalasi berhubungan dengan kapasitas unit *AC Split*. Pipa instalasi terdiri dari dua macam pipa, yaitu pipa yang berdiameter lebih besar (biasanya ½ inci) untuk saluran hisap, dan pipa yang berdiameter lebih kecil (biasanya ¼ inci) untuk saluran likuid *refrigerant* yang akan disalurkan ke evaporator. Berhati-hatilah ketika menangani pipa instalasi tersebut, jangan sampai ada instalasi pipa yang tertekuk, karena dapat menghambat sirkulasi *refrigerant* yang dapat menyebabkan *AC split* tidak bekerja dengan normal.

Gambar 6.8 Pipa Instalasi *AC Split*

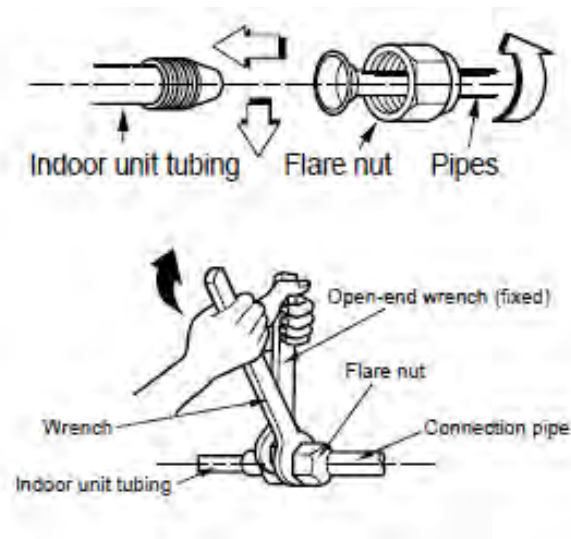
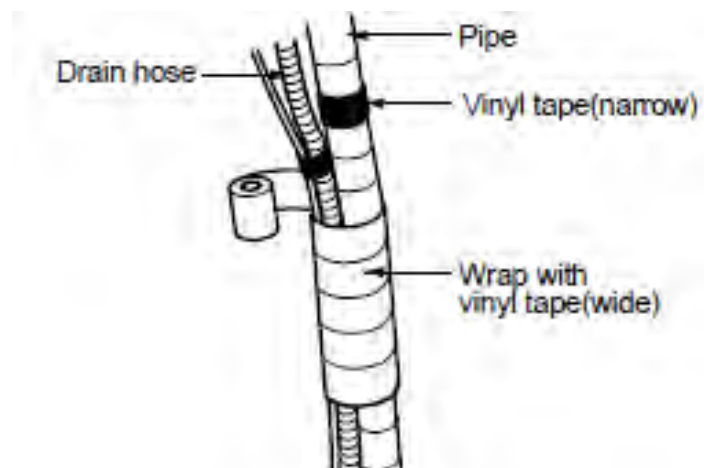
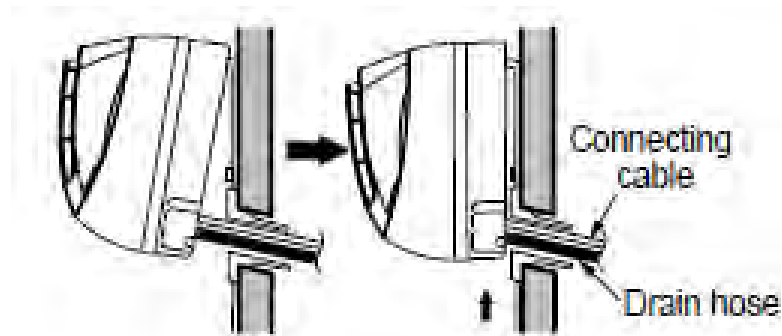
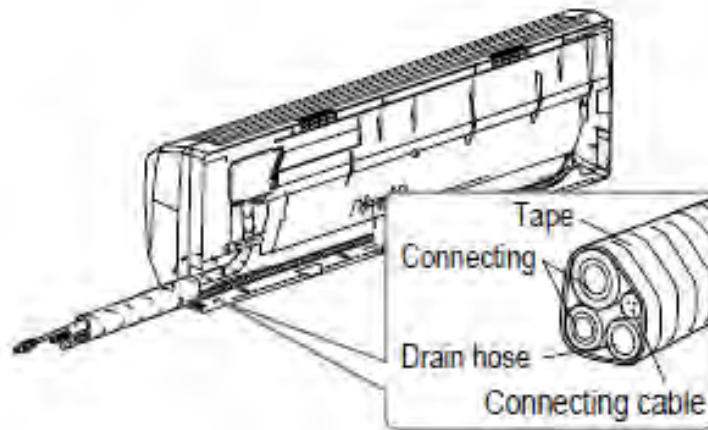
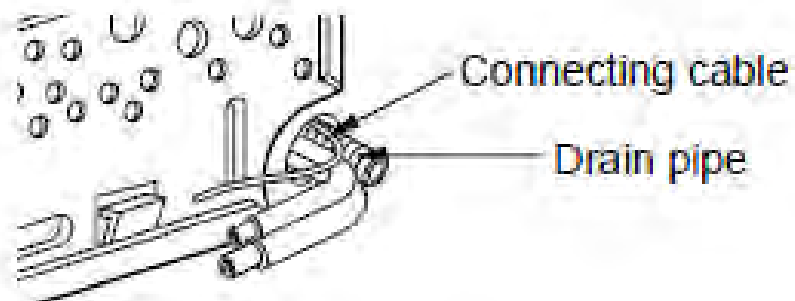
Hasil *flaring* harus prima, yakni lurus, tanpa ada cacat atau goresan. Tidak boleh miring, permukaan ujung pipa tidak halus, atau tidak simetri, agar tidak menimbulkan kebocoran. Ketika memotong pipa harus lurus potongannya.

Seperti kalian telah ketahui, unit *indoor* terdiri dari koil evaporator dan *Sirocco fan*. Untuk alasan keamanan maka koil evaporator ditutup kedua ujungnya dengan nepel khusus berbasis *flare fitting*. Buka 2 buah *flare nut* yang berada pada pipa di *indoor* unit dengan menggunakan 2 buah kunci pas. Jangan kaget bila ada gas yang keluar saat melepaskan 2 buah *flare nut* tersebut, yang keluar itu bukan *refrigerant* tapi nitrogen kering.

Diskusi: Kalian sudah tahu, bahwa unit *indoor* pada hakekatnya merupakan konfigurasi antara koil evaporator dan blower atau *fan*. Untuk apa nitrogen kering dimasukkan ke dalam koil evaporator? Diskusikan dengan teman sekelompok dan presentasikan hasilnya di kelas!

Selanjutnya, pasang pipa instalasi yang sudah dilengkapi dengan *flare nut* ke *flare fitting* pipa dari indoor unit. Kencangkan mur nepel kedua-duanya dengan menggunakan 2 buah kunci pas agar tidak terjadi kebocoran. Kemudian tutup dengan pembungkus pipa/*hamaflex*, kemudian lilitkan solasi untuk merapatkan pembungkus pipa agar tidak terjadi kondensasi. Kegiatan selanjutnya adalah mengatur posisi instalasi pemipaan agar kelihatan rapih.

Gambar 6.9 Instalasi Pemipaan *AC Split*

Gambar 6.10 Instalasi Pemipaan *AC Split*

Pada prinsipnya unit *outdoor* dapat diletakkan lebih rendah dari pada letak evaporator atau sebaliknya, unit *outdoor* lebih tinggi dari pada letak evaporator. Yang perlu diperhatikan adalah ketinggian pipa instalasinya. Jika unit *outdoor* lebih rendah dari pada letak evaporator maka ketinggian pipa (A) tidak boleh lebih dari 5

meter, dan panjang pipa instalasi total tidak lebih dari 15 meter. Jika karena alasan penempatan yang rumit sehingga panjang pipa total lebih dari 15 meter, maka *refrigerant* harus ditambahkan ke dalam unitnya.

Gambar 6.10 Cara Pengencangan *Flare Fitting*

Gambar 6.10 Cara Pengikatan Pipa *Refrigerant*

Gambar 6.11 Posisi *Drain Hose* dan Kabel *Power*

Gambar 6.12 Cara Pengikatan Pipa *Refrigerant*, selang Kondensat dan Kabel

Gambar 6.13 Cara Pengaturan Pipa *Refrigerant*, selang Kondensat dan Kabel

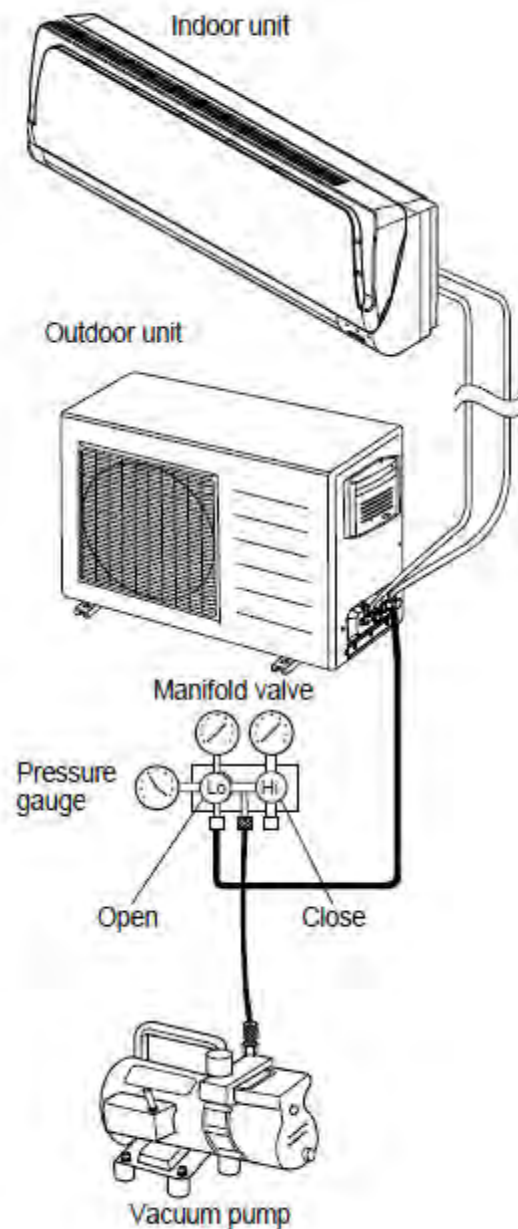
5. Pemasangan Sistem Kelistrikan

Pekerjaan berikutnya adalah pemasangan kabel listrik ke bagian outdoor unit. Buka tutup indoor unit, kemudian lihat pada bagian komponen PCB yang terdapat terminal untuk pemasangan kabel *power* ke bagian *outdoor* unit biasanya disitu tertulis 1 dan 2 dan N L. Untuk kabelnya pergunakan sesuai ukuran kapasitas-nya biasanya standar dari pabrik adalah ukuran 3 X 2.5 mm^2. Masukan kabel untuk power outdoor unit melalui lubang bobokan pipa AC dan pasang kabel pada terminal yang berada dibagian bawah komponen PCB, kabel warna hitam pada terminal no 1, kabel warna biru pada terminal no 2, dan kabel warna kuning pada *ground*, kencangkan dengan menggunakan obeng kembang. Setelah selesai melakukan pemasangan kabel *power* untuk *outdoor* unit, kita ke tahap pemasangan instalasi pipa *AC split* pada *outdoor* unit.

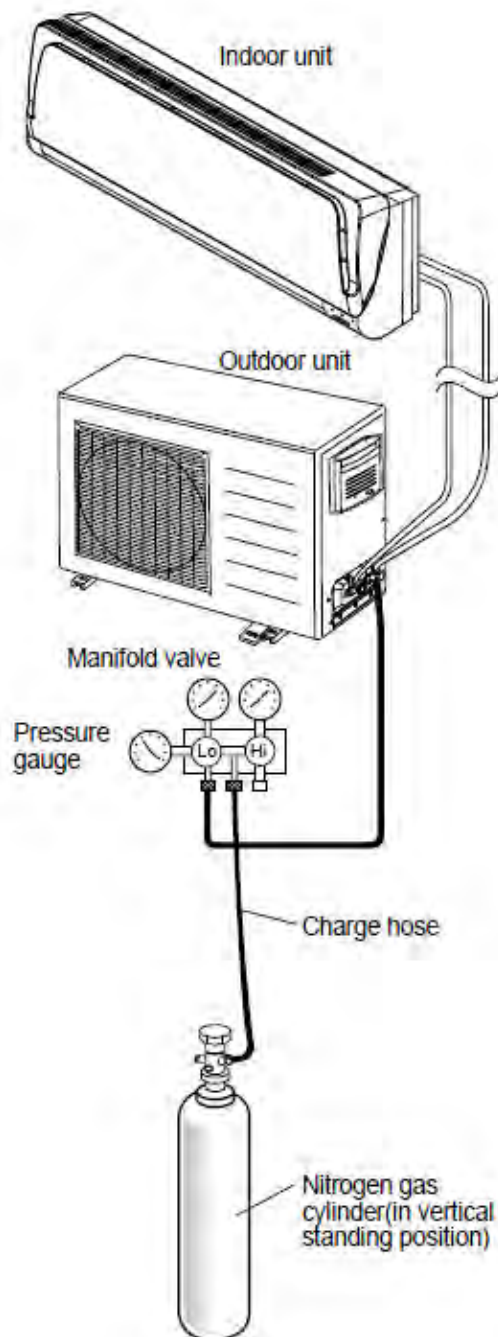
Gambar 6.10 Pemeriksaan Kebocoran Pada Sambungan Pipa *AC Split*

6. Pemeriksaan Kebocoran

Biasanya ruang kebocoran terjadi karena *flare* pipa pecah dan mur nepel kendor/tidak dikencangkan, lakukan *flaring* ulang dan usahakan hasil *flaring* tidak pecah atau kencangkan kembali mur nepel yang kendor. Untuk memeriksa kebocoran dilakukan dengan menggunakan *vacuum pump*. Gambar 6.11 memperlihatkan konfigurasi pemasangan *vacuum* pada unit *outdoor*. Jalankan *vacuum pump* kira-kira setengah jam, hingga jarum *manifold* menunjuk ke skala minus 29 inci Hg. Matikan *Vacuum pump*, jika jarum pada *manifold* tidak bergerak

atau tetap pada angka 30′ berarti tidak terdapat ruang kebocoran, lalu buka mur penutup keran nepel 1/4 dan yg 1/2 dengan menggunakan kunci L, buka sampai kedua keran nepel terbuka penuh.

Gambar 6.11 Konfigurasi Evakuasi *AC Split*

Setelah itu buka mur penutup keran nepel 1/4 dan 3/8 lalu buka kedua -keran *valve* dengan menggunakan kunci L sampai terbuka penuh dan pasang

kembali mur penutup keran *valve* dengan kencang. Bila sudah membuka keran nepel, tahap selanjutnya adalah penyambungan aliran listrik pada kabel *power supply* yang berada di *indoor* unit. Bila sudah melakukan penyambungan listrik pada kabel *power supply* yang berada pada *indoor* unit barulah *AC split* anda telah siap untuk dioperasikan.

Gambar 6.12 Konfigurasi *Pressure Test*

Kerja Proyek 1. Instalasi Unit Tata Udara Domestik

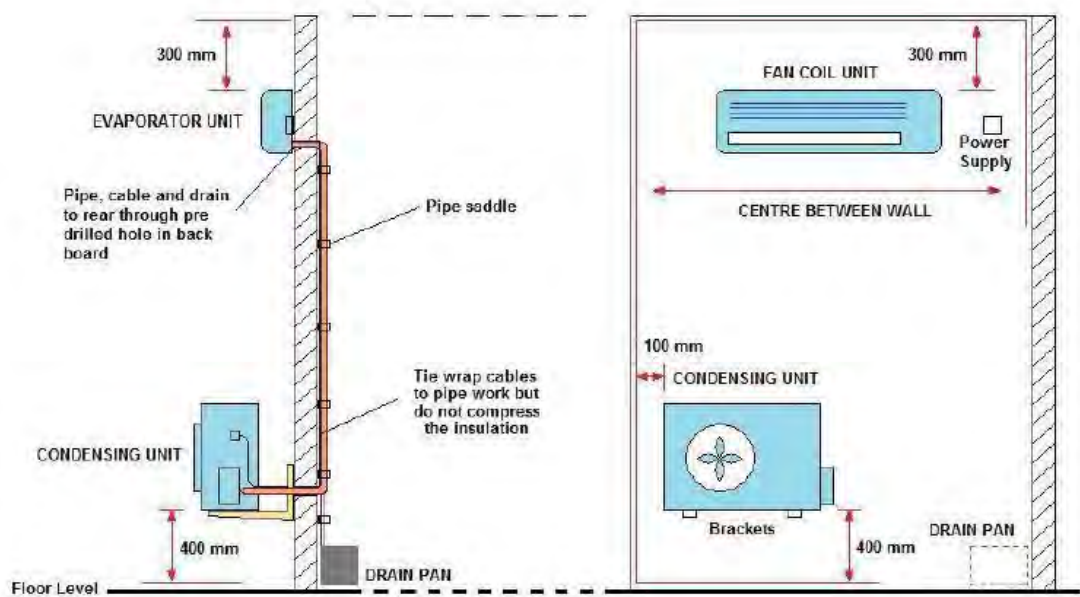
Tugas kalian kali ini merupakan tugas akhir semester. Berbekal pengetahuan dan keterampilan yang telah kalian miliki, secara berkelompok rancanglah sebuah proyek pemasangan instalasi sistem tata udara domestik dengan ketentuan seperti diuraikan dalam petunjuk kerja berikut.

Petunjuk Kerja:

1. Buat sebuah rancangan proyek pemasangan instalasi *AC split* yang memiliki kapasitas pendinginan antara 1/2 HP hingga 2,2 HP.
2. Uraikan aktivitas proyek meliputi peletakan (posisi), instalasi, dan *commissioning* unit *indoor* dan *outdoor*, pekerjaan pemipaan refrigerasinya termasuk instalasi kelistrikan dan instalasi pembuangan air kondensat dari evaporator.
3. Apapun yang kalian kerjakan harus mengacu kepada gambar kerja, dan tidak boleh ada perubahan.
4. Setelah pekerjaan instalasi selesai, kalian harus melakukan *test pressure* dan evakuasi untuk memastikan tidak kebocoran pada instalasi pemipaannya.
5. Kegiatan terakhir lakukan *start-up test*, *commissioning* dan buat laporan pelaksanaan proyek dan presentasikan di kelas.

Komponen yang harus dikerjakan meliputi:

- *Condensing unit* (*outdoor* unit)
- *Fan Coil unit* (*indoor* unit)
- *Refrigeration pipe work*
- *Electrical wiring*

Gambar Kerja:

Laporan *Commissioning*

Laporan *commissioning* harus meliputi aspek-aspek berikut:

- *Refrigerant Type Mass of the Refrigerant Charge*
- *Ambient Temperature*
- *Suction Pressure*
- *Saturated Suction Temperature*

- *Suction Superheat Value*
- *Air Suction Temperature onto Evaporator*
- *Air Discharge Temperature off Evaporator*

Petunjuk

Seperti kalian ketahui, unit tata udara digunakan untuk menciptakan kenyamanan tubuh dalam suatu ruang. Kenyamanan ruang meliputi dua aspek yaitu, kesesuaian suhu dan kelembaban udara dengan zona nyaman yang telah ditetapkan oleh para ahli kesehatan. Pemakaian unit tata udara untuk keperluan kenyamanan tidak dapat dilakukan secara sembarangan. Ada beberapa variabel pendukung yang dapat berpengaruh terhadap kenyamanan tubuh. Salah satunya adalah kapasitas unit tata udara yang digunakan. Dalam hal ini harus ada kesesuaian antara kapasitas unit tata udara yang akan dipasang di suatu ruang dengan beban pendinginan pada ruang yang bersangkutan.

Untuk menenetukan apakah kondisi ruang yang telah dikondisikan dengan unit tata udara itu telah memenuhi kenyamanan tubuh atau belum, diperlukan pemeriksaan terkait dengan kondisi suhu dan kelembaban udara pada ruang tersebut. Di lain pihak, unit tata udara yang terpasang pada ruang tersebut perlu juga mendapat perhatian. Apakah kinerja unit tata udara tersebut telah optimal, sehingga dapat beroperasi secara efisien? Untuk menjawab masalah itu, juga diperlukan pemeriksaan. Pemeriksaan unit tata udara terkait dengan kinerjanya, lazim disebut *commissioning*.

Dari paparan di atas, kalian menjadi semakin paham tentang aplikasi sistem tata udara. Sistem tata udara tidak hanya menjaga kondisi udara konstan pada titik suhu tertentu, atau dengan kata lain unit tata udara tidak sekedar hanya menyediakan udara dingin di dalam ruangan. Ada sasaran dan tujuan yang lebih besar, yaitu

menciptakan kenyamanan tubuh melalui penerapan sistem tata udara yang efektif dan efisien. Penerapan sistem tata udara yang efektif dan efisien, terkait dengan kapasitas unitnya dan beban pendinginan pada ruangannya.

Tugas 6.1 Menentukan Beban Pendinginan
Diskusikan dengan teman sekelompok terkait dengan beban pendinginan pada suatu ruangan yang akan dikondisikan udaranya.

Pengujian Kebocoran

Seperti telah kita ketahui, untuk memperoleh efek refrigerasi diperlukan sebuah sistem refrigerasi. Sistem Kompresi uap mempunyai efisiensi tinggi. Oleh karena itu sistem kompresi gas lebih banyak pemakainya. Sistem Kompresi uap merupakan mesin refrigerasi yang berisi fluida penukar kalor (*refrigerant*) yang bersirkulasi terus menerus. Selama bersirkulasi di dalam unitnya maka *refrigerant* tersebut akan selalu mengalami perubahan wujud dari gas ke likuid dan kembali ke gas akibat proses perubahan suhu dan tekanannya karena adanya efek kompresi, kondensasi, ekspansi dan evaporasi *refrigerant*.

Sesuai dengan proses yang terjadi di dalam siklus refrigerasinya maka sistem refrigerasi kompresi uap mempunyai 4 komponen yang saling berinteraksi satu sama lain, yaitu: (i) Evaporator untuk proses evaporasi *liquid refrigerant*. (ii) Kompresor untuk meningkatkan tekanan gas *refrigerant* dari sisi tekanan rendah kompresor (kompresi). (iii) Kondensator untuk proses kondensasi gas *refrigerant*. (iv) Katup ekspansi untuk menurunkan tekanan *liquid refrigerant* yang akan di masuk ke evaporator. Adanya gangguan pada salah satu komponen dapat menggagalkan efek refrigerasi. Misalnya adanya kebocoran pada salah satu bagian sistem atau adanya saluran buntu dapat mengagalkan kerja sistem.

Besarnya tekanan *liquid refrigerant* pada sistem kompresi gas akan menentukan besarnya suhu likuid mencapai titik (pengannya?). Oleh karena itu dalam sistem kompresi gas penentuan besarnya tekanan liquid *refrigerant* yang disalurkan ke bagian evaporator memegang peranan penting dalam upaya memperoleh suhu evaporasi yang diinginkan. Dalam sistem kompresi gas pengaturan tekanan *liquid refrigerant* yang akan diuapkankan di evaporator dilakukan melalui pipa kapiler. Untuk mengetahui hubungan tekanan dan suhu *refrigerant* dalam kondisi saturasi dapat dilihat dalam Tabel 1.

Tabel 13.1 Hubungan antara Suhu dan Tekanan *Refrigerant* dalam Kondisi Jenuh

Suhu °0C	R12 PSI	R22 PSI	R502 PSI
- 30	-0,3	9	14
- 20	7,2	21	28
- 18	9,0	24	31
- 16	11	27	34
- 14	13	30	38
- 12	15	33	41
- 10	17	37	45
- 6	29	44	50
0	30	57	68
5	38	70	82
6	40	73	85
7	41	75	88
10	47	84	97
15	57	100	114
20	68	117	133
25	80	137	154

30	93	158	177
36	111	187	207
40	125	208	229
45	146	242	264
50	162	267	290
55	188	308	332
60	207	337	363

Kebocoran pada Pemipaan

Bocor pada sistem pemipaan refrigerasi merupakan penyebab gangguan yang dapat menggagalkan kerja sistem dan yang paling banyak dialami oleh unit refrigerasi/AC. Tanpa menghiraukan bagaimana dan penyebab terjadinya kebocoran pada sistem, yang sudah pasti adalah bahaya yang dapat timbul yang disebabkan oleh bocornya unit refrigerasi/AC, yaitu:

a. Hilangnya sebagian atau bahkan mungkin seluruh isi *refrigerant charge*.

b. Memungkinkan udara dan uap air masuk ke dalam sistem pemipaan refrigerasi.

Udara dan uap air merupakan gas kontaminan yang sangat serius dan merupakan barang haram yang sangat berbahaya. Sebab disamping dapat mencemari kemurnian oli *refrigerant* juga berkontribusi terhadap timbulnya lumpur dan korosi. Di lain pihak, uap air yang ada di dalam sistem dapat menjadi beku atau *freeze-up* pada saat mencapai katup ekspansi. Oleh karena adanya kebocoran harus dapat dideteksi secara dini.

Ada dua metoda yang dapat digunakan untuk memeriksa kebocoran, yaitu

a. *Pressure Test Method*

b. *Buble Test Method*

c. *Vacuum Method*

Pressure Test Method

Pada dasarnya, metoda melacak kebocoran menggunakan *Pressure Test Method* adalah mengisikan *inert* gas ke dalam sistem refrigerasi hingga mencapai tekanan tertentu dan kemudian melacak lokasi kebocoran dengan alat pendeteksi kebocoran. Gas yang digunakan untuk *Pressure Test* adalah *refrigerant* yang sesuai dengan sistemnya tetapi untuk ekonomisnya maka dapat dilakukan dengan menggunakan gas nitrogen kering atau campuran antara *refrigerant* dan gas nitrogen kering.

Pemeriksaan atau uji kebocoran dengan *pressure test* ini harus dilakukan khususnya untuk unit baru yang telah selesai dirakit atau unit lama yang baru selesai diperbaiki atau diganti salah satu komponen utamanya. *Pressure Test* harus dilakukan sebelum sistemnya diisi *refrigerant*. Untuk melakukan *pressure test* ini ada beberapa ketentuan yang harus diikuti dengan benar dan perlu mendapat perhatian khusus.

Perhatian:

a. Untuk unit refrigerasi yang kompresornya jenis *open type*, maka tekanan gas yang diberikan atau diisikan ke dalam sistem tidak boleh melebihi 400 Kpa (60 PSI)

   Hal ini dilakukan untuk mencegah agar *seal crankcase* kompresor tidak rusak.

b. Untuk kompresor yang dilengkapi dengan *service valve* di kedua sisi *inlet* dan *outlet*nya, maka *pressure test* dapat dilakukan hingga mencapai tekanan 150 PSI.

c. Bila menggunakan gas nitrogen kering maka harus melalui regulator. Karena tekanan tabung gas nitrogen dapat mencapai 2000 PSI.

Selanjutnya bila sistemnya telah terisi dengan gas maka pelacakan kebocoran dapat dilakukan dalam tiga cara, yaitu:

a. *Bubble Halide Method*

b. Halide Leak Detector

c. Electronic Leak Detector

Bubble Test Method

Bubble test method adalah pelacakan lokasi kebocoran dengan menggunakan busa sabun. *Halide Leak Detector* adalah alat pelacak kebocoran dengan menggunakan *halide torch*. Biasanya *halide torch* ini menggunakan gas buatan yang

berwarna biru. Bila ia mencium adanya gas bocor maka warnanya berubah menjadi kehijau-hijauan. *Electronic leak detector* adalah pelacak kebocoran secara elektronik. Bila ia mendeteksi adanya kebocoran gas maka ada indikator yang akan menunjukkan kebocoran berupa suara atau secara visual.

Gambar 2.1 Pemeriksaan Kebocoran dengan Busa Sabun dan *Leak Detector*

Setelah pekerjaan *pressure test* selesai dikerjakan dan kebocoran yang terjadi juga sudah diperbaiki, maka pekerjaan pemeriksaan dilanjutkan dengan *vacuum testing*.

Vaccum Test Method

Kalau pada *pressure test*, uji kebocoran dilakukan dengan memberi tekanan positif ke dalam sistem maka pada *vacuum test* sistemnya dibuat menjadi bertekanan negatif (*vacuum*). Untuk membuat *vacuum*, digunakan alat khusus yang disebut: pompa vakum atau *vacuum pump*. Pompa vakum ini akan menghisap gas yang ada di dalam sistem sampai mencapai tingkat kevakuman tinggi. Kemudian sistemnya dibiarkan dalam keadaan tersebut selama lebih kurang 12 jam.

Adanya kebocoran dalam salah satu lokasi akan menyebabkan tingkat kevakumannya turun. Bila menjumpai keadaan seperti itu maka sistemnya harus diperiksa dengan metoda *pressure test* lagi untuk memastikan lokasi bocornya. Selanjutnya bila sistemnya sudah terbebas dari gangguan bocor, maka pekerjaan dapat dilanjutkan ke tahap berikutnya yaitu dehidrasi dan *charging refrigerant*.

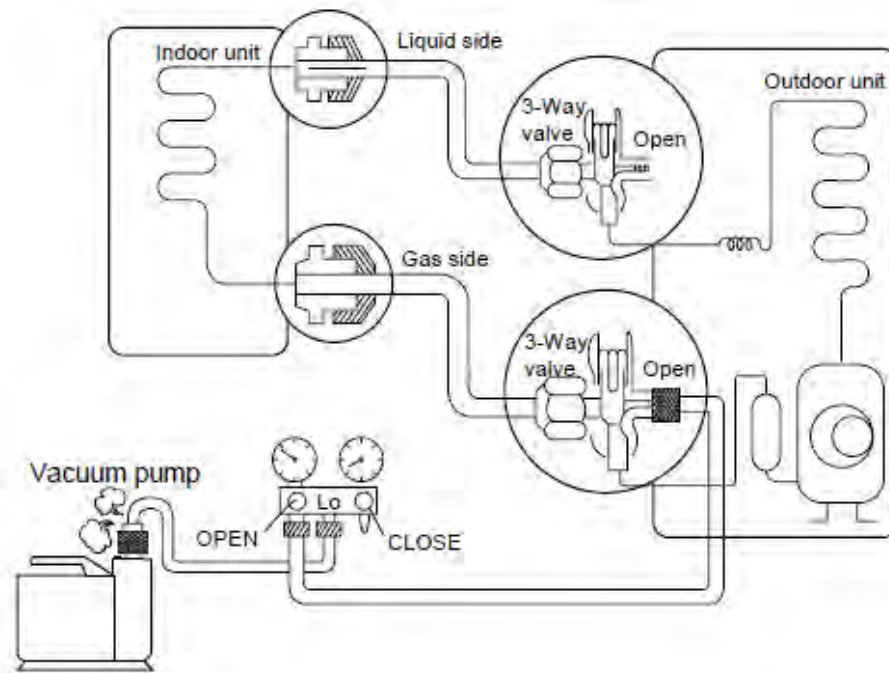
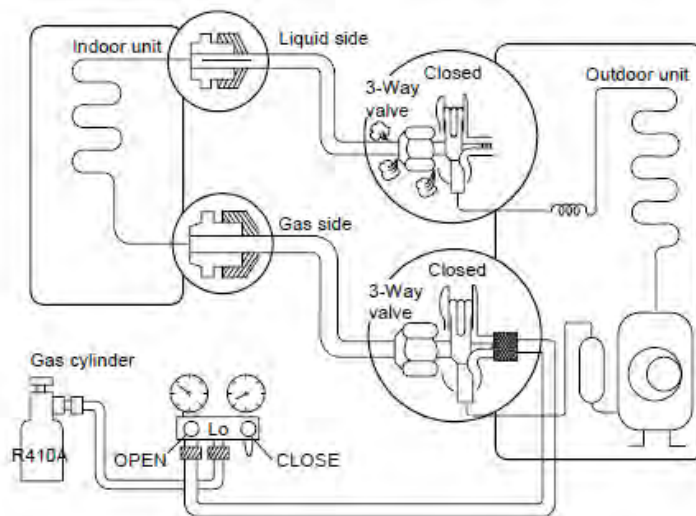
Tugas Praktek:*Vacuum Test* dan Re-air Purging

Petunjuk:

1. Siapkan alat dan bahan yang diperlukan
2. Periksa *service manifold*, kalibrasi posisi jarum pada angka nol.
3. Periksa pula peralatan lainnya.
4. Ikuti prosedur yang berlaku dan bekerja dengan hati-hati.
5. Jangan sampai tertukar dengan tabung oksigen. Akibatnya sangat berbahaya.

Alat dan Bahan

1. *Service Manifold*
2. *Ratchet spanner*
3. Kunci Pas
4. Pompa *vacuum*
5. *Commercial Refrigeration Trainer set*

Gambar Kerja

Gambar 2.2 Konfigurasi *Vacuum Test*

Gambar 2.2 Konfigurasi *Re-air Purging*

Procedure *Re-air Purging*

(1) Pastikan *liquid side valve* and *the gas side valve* pada posisi tertutup.

(2) Pasang *service manifold* dan silinder *refrigerant* ke *service port* sisi gas *side valve*.

– pastikan *valve* pada *gas cylinder* tertutup.

(3) *Air purging* (membuang udara dari dalam sistem)

– Buka katup pada gas silinder dan *service manifold*. Buang udara yang ada di dalam sistem dengan mengendorkan *flare nut* pada katup *liquid side* kira-kira 45° selama 3 detik dan kemudian kencangkan lagi selama 1 menit; dan ulangi sampai tiga kali.

– Setelah pembuangan udara selesai, gunakan kunci torsi untuk mengencangkan *flare nut* pada sisi katup *liquid side*.

(4) periksa kebocoran.

– Periksa kebocoran pada sambungan *flare*.

Pressure Test

1. Sebelum melakukan *pressure test*, yakinkan bahwa piranti dan komponen lain yang tidak perlu di tes harus dilepas. Karena kompresor tidak termasuk komponen yang harus di tes maka pastikan bahwa katup *service* kompresor pada sisi *suction* dan sisi *discharge* sudah berada pada posisi *front seated*.
2. Pastikan katup *service* pada *liquid receiver* sudah dalam posisi terbuka, demikian juga posisi katup bantu pada sisi *hot gas* dan *liquid line*.
3. Hubungkan silinder nitrogen kering ke *gauge port* katup *service* kompresor pada sisi *discharge*.
4. Karena tekanan gas nitrogen yang ada di dalam silinder dapat mencapai 2000 psi pada kondisi suhu ruang maka pemasukan gas nitrogen ke dalam sistem harus melalui *gauge manifold*.
5. Setel tekanan regulator pada tabung nitrogen pada posisi 150 psi. Buka *shut off valve* pada tabung nitrogen demikian juga *hand valve* pada *service manifold*. Biarkan nitrogen masuk ke dalam sistem hingga tekanan di dalam sistem naik hingga 150 psi. Kemudian tutup hand *valve service manifold*nya.
6. Pukul-pukul dengan tekanan secukupnya dengan menggunakan palu karet pada setiap sambungan yang ada baik sambungan dengan *brazing* maupun sambungan dengan *flare nut* umtuk memastikan kekuatan sambungan tersebut.
7. Kemudian lakukan pelacakan kebocoran pada setiap sambungan pipa dengan teliti secara menyeluruh baik menggunakan alat atau indera kita. Untuk itu periksa tekanan di alam sistem. Bila tekanan di dalam sistem cenderung turun, berarti terjadi kebocoran yang cukup serius. Gunakan pula indera pendengaran untuk mengetahui adanya suara desis yang ditimbulkan oleh kebocoran sambungan yang serius. Kebocoran yang relatif lebih kecil, dapat dideteksi dengan mengguakan busa sabun. Bila perlu campur air sabun dengan cairan gliserin untuk meningkatkan aksi gelembungnya.

8. Setelah selesai melakukan uji kebocoran, tutup *shut_off valve* pada silinder nitrogen. Kemudian buang gas nitrogen yang ada di dalam sistem melalui saluran tengah *service manifold*.
9. Bila ditemukan kebocoran, perbaiki dahulu kebocorannya dengan mengulang pekerjaan pemipaannya dan kemudian lakukan *pressure test* ulang.
10. Bila sistemnya sudah terbebas dari kebocoran, maka isi-kan *refrigerant* ke dalam sistem hingga 15 psi. Kemudian isikan nitrogen kering ke dalam sistem hingga tekanan di dalam sistem naik menjadi 150 psi. Kemudian sekali lagi lakukan uji kebocoran dengan menggunakan peralatan *leak detector*.
11. Tahap akhir dari *pressure test* adalah biarkan sistem berada dalam tekanan 150 psi selama 24 jam. Ingat tekanan di dalam sistem dapat berubah dengan berubahnya suhu ruangannya. Tekanan di dalam sistem dapat berubah sebesar 3 psi pada perubahan suhu ruangan sebesar 10 ^{0}F.

Pemeriksaan Tekanan Kondensasi

Bila gas *refrigerant* didinginkan maka akan terjadi perubahan wujud atau kondensasi ke bentuk likuid. Tetapi yang perlu mendapat perhatian kita adalah titik suhu embun atau kondensasi gas *refrigerant* tersebut juga ditentukan oleh tekanan gasnya.

Pada sistem kompresi gas, maka gas *refrigerant* dari sisi hisap di_kompresi hingga mencapai tekanan *discharge* pada titik tertentu dengan tujuan bahwa gas panas lanjut (*superheat*) tersebut dapat mencapai titik embunnya dengan pengaruh suhu *ambient* di-sekitarnya. Misalnya lemari es. Untuk sistem yang berskala besar maka untuk mendinginkan gas *superheat* ini digunakan air atau campuran air dan udara paksa.

Gas *refrigerant* yang keluar dari sisi tekan kompresor disalurkan ke kondensator. Gas tersebut mempunyai suhu dan tekanan tinggi dalam kondisi *superheat*. Selanjutnya saat berada di kondensator, gas panas lanjut tersebut

mengalami penurunan suhu akibat adanya perbedaan suhu antara gas dan medium lain yang ada disekitarnya, yang dapat berupa udara atau air. Penurunan suhu gas *refrigerant*tersebut diatur sampai mencapai titik embunnya. Akibatnya *refrigerant*nya akan merubah bentuk dari gas menjadi likuid yang masih bertekanan tinggi.

Dari pengalaman, agar diperoleh performa yang optimal dari mesin refrigerasi kompresi gas maka suhu kondensasinya diatur agar mempunyai harga 6 sampai 17 derajat celsius di atas suhu *ambient*, tergantung dari suhu evaporasinya.

Tabel 13.2 memperlihatkan penentuan tekanan kondensasi untuk berbagai kondisi suhu evaporasi.

Tabel 13.2 Patokan Penentuan Suhu Kondensasi

Suhu Evaporasi	Suhu Kondensasi (*Air Cooled Condenser*)	Suhu Kondensasi (*Water Cooled Condenser*)
- 18 sampai -23	Suhu ambien + 9 ^{0}C	Suhu air + 6 ^{0}C
- 10 sampai -17	Suhu ambien + 11 ^{0}C	Suhu air + 8 ^{0}C
- 4 sampai - 9	Suhu ambien + 14 ^{0}C	Suhu air + 11 ^{0}C
di atas - 3	Suhu ambien + 17 ^{0}C	Suhu air + 14 ^{0}C

Berdasarkan patokan di atas, maka suhu dan tekanan kondensasi dapat ditentukan dengan cepat dan akurat.

Contoh:

Suatu *frozen cabinet* dengan R-12, mempunyai suhu evaporasi -18^{0}C. Suhu *ambiet*nya 25^{0}C. Maka berdasarkan tabel 2, suhu kondensasinya harus dapat mencapai 25^{0}C + 9 ^{0}C = 34^{0}C. Sehingga tekanan kondensasinya harus dapat mencapai 7,05 barg.

Formula:

Suhu Kondensasi = suhu *ambient*+ beda suhu yang diijinkan

Tugas Praktek

Pemeriksaan Tekanan *Condensing*

Petunjuk:

1. Siapkan alat dan bahan yang diperlukan
2. Periksa *service manifold*, kalibrasi posisi jarum pada angka nol.
3. Periksa pula peralatan lainnya.
4. Ikuti prosedur yang berlaku

Alat dan Bahan

1. *Service Manifold*
2. *Ratchet spanner*
3. Kunci Pas
4. *Thermometer*
5. *Commercial Refrigeration Trainer set*

Prosedur

1. Jalankan unit refrigerasi
2. Setelah 20 menit, amati data pengukuran dan isi data sesuai nilai yang diperoleh.
3. Lakukan analisa data sesuai prosedur
4. Buat kesimpulan akhir tentang kondisi tekanan *condensing*. Hasil yang diperoleh adalah sebagai berikut

- Bila suhu *condensing* hasil pengukuran sama dengan hasil analisis teoritis berarti sistemnya normal.
- Bila suhu *condensing* hasil pengukuran lebih kecil daripada hasil analisis teoritis berarti sistemnya mengalami *over condensing*
- Bila suhu *condensing* hasil pengukuran lebih besar daripada hasil analisis teoritis berarti sistemnya mengalami *under condensing*

Data Pengukuran:

No	Parameter Yang diamati	Hasil pengukuran
1	Jenis refrigeran yang digunakan	
2	Sistem Pendinginan Kondensator	
3	Suhu udara sekeliling (Untuk *Air Cooled*)	
4	Suhu air masuk kondensator (Untuk *water Cooled*)	
5	Suhu air keluar kondensator (Untuk *water Cooled*)	
6	Suhu Evaporasi	
7	Tekanan kondensasi	
8	Suhu kondensasi	

Analisa Data

Suhu Evaporasi: ………………………………

Kenaikan suhu kondensator: ………………………………

Suhu *condensing* ideal: ………………………………

Tekanan *condensing* ideal: ………………………………

Kesimpulan:

Tekanan *condensing* Sistem Refrigerasi: (Pilih salah satu)

1.Over Condensing

2.Under Condensing

3.Normal atau Optimal

DAFTAR PUSTAKA

McQuiston, Parker and Spitler, *Heating Ventilating, and Air Conditioning, Analysis and Design*, 2005, 6th Ed., John Wiley & Sons, Inc.

Althouse, Turnquist, Bracciano, 2003, *Modern Refrigeration & Air Conditioning, Instructor Manual with Answer Key*, The Goodheard-Willcox Company, USA

Goliber, Paul F., 1986, *Refrigeration Servicing*, Bombay, D.B. Taraporevala Son & Co Private L.td

Harris, 1983, *Modern Air Conditioning Practice*, Third Edition, Mc.Graw - Hill International Book Company

Althouse, Andrew D., 2003, *Modern Refrigeration & Air Conditioning*, The Goodhard-Willcox Company, USA

John Tomczyk, Trouble*shooting & Servicing Modern Refrigeration & Air Conditioning System*,

Dossat, Roy J., 1980, *Principles of Refrigeration*, Second Edition, SI Version, John Wiley & Son Inc., New York, USA